



江苏双良冷却系统有限公司企业标准

Q/320281 BIK002—2020

石化行业直接空冷系统设计技术规范

2020 - 09 - 01 发布

2020 - 09 - 05 实施

江苏双良冷却系统有限公司

发 布



企业标准信息公共服务平台
公开 2020年09月07日 09点44分

企业标准信息公共服务平台
公开 2020年09月07日 09点44分



前 言

工业生产中消耗的水量很大，化工、火力发电都是我国取水量最大的行业。节水工作的开展与否直接影响工业企业的生产经营和持续发展。近些年来，大型化工行业持续升温，装置规模越上越大，循环水的消耗规模也变得十分庞大。尽管直接空冷较一般水冷的一次性投资高，但由于其节水性能优越，在富煤缺水地区采用直接空冷技术已逐渐成为一种趋势。在化工设备中有驱动用的汽轮机，若将汽轮机的表面冷却器由水冷改为直接空冷，节水效果相当明显。推广直接空冷技术，不仅有利于我国西北、东北以及黄河以北的许多富煤少水地区发展化工事业，而且对调整我们现有能源结构，提升民族制造工业水平，都有现实意义。

然而，在这些工程建设过程中，由于我国还没有一部完整的、权威的直接空冷设计技术标准，大多数仍沿用国外纷杂的设备性能考核标准和国内相关标准内的某些条款，形不成完整统一的体系，对我国化工行业直接空冷技术的发展带来诸多不便和不规范。

我公司是国内最早实现直接空冷技术国产化的单位，经过十多年的积累和工程实践，已有较丰富的经验，为规范我司化工行业直接空冷系统的设计，按公司企业标准编制计划，本次编制《石化行业直接空冷系统设计技术规范》。

本规范的版权和解释权归江苏双良冷却系统有限公司所有。由编写组成员具体负责对其所编内容的解释，由技术部归口管理。在具体使用过程中，各使用专业需不断总结经验，以书面形式提出可能存在的不足并提出改进建议，对所有意见和建议经公司评审后可能会用于本规定今后的补充或修订。

本标准由江苏双良冷却系统有限公司批准发布。

本标准由江苏双良冷却系统有限公司起草。

主要起草人：王永新、江瀚、左可新、吕恒寿、沈栋。



企业标准信息公共服务平台
公开 2020年09月07日 09点44分

企业标准信息公共服务平台
公开 2020年09月07日 09点44分



石化行业直接空冷系统设计技术规范

1 范围

本规范适用于江苏双良冷却系统有限公司承揽的汽轮机低压缸排汽采用直接空冷系统冷凝的石化行业工程。

本规范仅对直接空冷系统涉及到的有关专业的有关部分做出规定，其它部分仍按有关规定执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 12348	工业企业厂界环境噪声排放标准
GB 50093	自动化仪表工程施工及质量验收规范
DL/T 244	直接空冷系统性能试验规程
HG/T 20507	自动化仪表选型设计规范
JB/T 10085	汽轮机凝汽器技术条件
SH/T 3005	石油化工自动化仪表选型设计规范
SH/T 3104	石油化工仪表安装设计规范
VGB-R131me	VGB导则：真空状态下空冷凝汽器验收试验测量和运行监控
ASME PTC 30.1	空气制冷蒸汽冷凝器
ISO 12944-4	色漆和清漆 防护涂料体系对钢结构的防腐蚀保护 第4部分：表面类型和表面处理

3 定义

3.1

A形架

风机平台上的字母A形状的可以支撑换热器管束钢结构部分。

注：管束也可采用无A形架的自支撑结构，此时管束布置形式采用水平、垂直、双A形或双V形等布置结构。

3.2

直接空冷凝汽器(ACC)

采用环境空气作为冷却介质，将汽轮机的低压缸排汽直接冷凝成水的一种换热器。

3.3

进风高度

对于鼓风式空冷，是指从地面到风机进风口或风筒底部的高度；对于引风式垂直布置，则是从地面到管束长度方向中间点的高度；对于引风式双V形布置，则是从地面到管束最低点的高度。

3.4

进风温度

进入空冷凝汽器的空气干球温度，测点位置无太阳直射，空气流通状态良好。



3.5

背压

在规定位置的静态压力的绝对值，也称作汽轮机排汽压力，通常在汽轮机排汽法兰处或排汽管道水平母管上测得。

3.6

管束

由管板和若干数量的翅片管组成。

3.7

管束迎风面积

在一个管束迎风面测量的面积，由管束长乘宽得到，管束的长度等于管板内侧传热管（不包括管板）的长度，宽度对应于每个管束的正常气流平面的宽度。

3.8

单元

由若干片管束和风机组成的一个功能单元，通常用隔墙围住。通常每个单元的风机数量为一台，也可设多台风机。

3.9

管束下联箱

收集管束中的冷凝水并将来自顺流管束未凝结的蒸汽输送到逆流管束的装置。

3.10

凝结水箱

收集空冷凝汽器系统的冷凝水、排汽管道疏水、射汽抽气器疏水等其它疏水的装置。

3.11

冷凝压力

被冷凝蒸汽在一个规定位置的绝对压力。

3.12

冷凝温度

蒸汽冷凝压力对应的饱和蒸汽温度。

3.13

除氧器

将来自冷凝水和/或补给水的不凝性气体排除的一个装置。

3.14

疏水罐

排汽管道疏水、汽轮机本体疏水的收集容器，通常也称为疏水集液箱。

3.15

排汽流量

汽轮机低压缸排汽口排出蒸汽的质量流量。

3.16

出风温度

经过换热管束后的空气平均干球温度。

3.17

迎面风速

与管束迎风面垂直的平均空气进口速度。

3.18



风机平台

安装风机的平台面，鼓风式空冷凝汽器位于管束下部；引风式空冷凝汽器，风机平台位于管束的上部。

3.19

顺流凝汽器单元

蒸汽的流动方向与凝结水的流动方向一致的空冷凝汽器单元；顺流凝汽器单元的管束（简称顺流管束）上部与蒸汽分配管相连、下部与管束下联箱相连；也被称作“K”单元。

3.20

抽真空系统

在系统启动阶段排出系统中的空气，以及在系统正常运行阶段排出系统中的不凝性气体的系统，通常采用射汽抽气器，也可采用水环真空泵。

3.21

初始温差 (ITD)

空冷凝汽器入口设计点排汽温度（冷凝温度）与进风温度的差值。

3.22

对数平均温差 (LMTD)

两种流体在热交换器中传热过程温差的积分的平均值。

3.23

占地面积

在地坪面上投影的空冷凝汽器外围支撑柱之间的区域面积。

3.24

热风再循环

空冷凝汽器出口的热空气的一部分和新鲜环境空气混合重新进入进风口的一种现象，该现象将使进风温度高于环境干球温度。

3.25

列（空冷凝汽器列）

沿蒸汽分配管方向的所有空冷凝汽器单元组，也被称作“街”。

3.26

逆流凝汽器单元

布置逆流管束的空冷凝汽器单元，逆流管束中蒸汽的流动方向与凝结水的流动方向相反；逆流管束上部与抽真空系统相连，下部与管束下联箱相连；逆流单元可为纯逆流管束组成，也可由若干顺流管束与若干逆流管束组成混合逆流单元，也被称作“D”单元。

3.27

减速机

安装在电机与风机之间的一种机械传动装置，用来将电机的速度降低到一个最佳的风机速度。一般采用齿轮箱，也可采用皮带轮。

3.28

排汽管道

将汽轮机排出的蒸汽输送到各列蒸汽分配管的管道系统，包括排汽管道、膨胀节、疏水罐、排汽安全阀和/或爆破膜、支吊架、隔离阀（如需）等部分。

3.29

蒸汽分配管

将蒸汽从排汽管道输送到该列空冷凝汽器顺流管束的管道。



0281 BIK002—2020

3.30

蒸汽干度

每千克湿蒸汽中含有干饱和蒸汽的质量百分数。在一定压力下的沸腾点温度产生的蒸汽称为干饱和蒸汽，此时干度为100%。如果水蒸汽中含有10%质量的水分，则蒸汽干度为90%。

3.31

空气侧总传热表面积

与空气接触的所有顺流管束和逆流管束的总外表面积，不包括输送排汽的管道和其他附件的外表面积。

3.32

汽轮机排汽口

汽轮机低压缸与空冷凝汽器排汽管道之间的接口。

3.33

挡风墙

风机平台上方的垂直围墙，通常延伸到管束的顶部以最大程度地减少潜在的热风再循环，并保护传热表面防止风的影响。对于引风式空冷凝汽器，一般不设置挡风墙。

3.34

风机防护网

防止风机叶片掉落至地面、同时兼顾部分检修功能。

3.35

风筒喇叭口

风筒上引导空气进入风机的部分。

4 符号和单位

本标准所引用的符号和单位见表1。

表1

缩写	名称	典型单位
FV	全真空	kPa, (bar)
P	电机额定功率	kW
P_{shaft}	风机轴功率	kW
T_d	进风口设计温度	°C
T_{min}	进风口最低温度	°C
H_{in}	进风口高度	m
Q	热负荷	W
K	传热系数	W/m ² K
K_c	清洁状态传热系数	W/m ² K
A	空气侧传热面积	m ²
LMTD	对数平均温差	°C
ε	换热器效率	-
$\dot{m}_{\text{air}}$	空气质量流量	kg/s
$\dot{m}_{\text{in}}$	蒸汽质量流量	kg/s
$\dot{m}_{\text{out}}$	冷凝水质量流量	kg/s



C_p	空气比热	J/kg °C
ITD	初始温差	°C
$T_{s,in}$	蒸汽进口温度	°C
$T_{air,in}$	空气进口温度	°C
ΔT_{air}	空气温度的变化	°C
D_0	蒸汽流量	t/h
h_s	蒸汽焓值	kJ/kg
h_w	冷凝水焓值	kJ/kg
$\dot{m}_{vent}$	抽气口质量流量	kg/s
h_{vent}	抽气口焓值	kJ/kg
t_s	蒸汽凝结温度	°C
t_{w1}	冷却水进口温度	°C
DO	含氧量	ppb
F	污垢系数	m ² K/W
W	蒸汽干度	kg/kg
A_D	最小流通面积	mm ²
W_s	排放流量	kg/h
K_4	流量系数	-
P_A	泄放压力	kPa

5 直接空冷（ACC）系统概述/描述

5.1 直接空冷系统的定义

直接空冷系统是将汽轮机低压缸乏汽通过空气冷凝的系统，由多个部分组成，其工作原理为：首先将汽轮机低压缸排出的乏汽通过排汽管道输送到各列各单元凝汽器内，由大型轴流风机提供空气，从凝汽器（管束）外表面掠过，带走热量，乏汽在管束中凝结成水，凝结水经凝结水管道汇集到凝结水箱（或排汽装置下部热井）中，整个过程由抽真空系统维持整个系统真空。

常见型式有传统A型（见图1）、双A型（见图2）、双V型（见图3）、垂直布置（见图4）等。

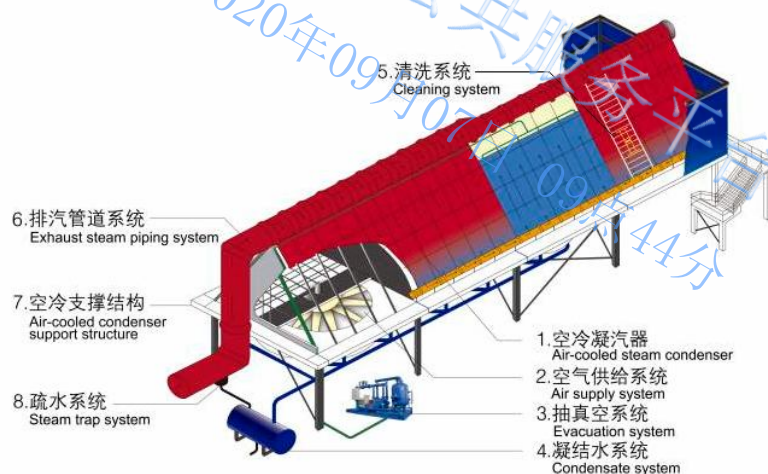


图1 A型布置直接空冷

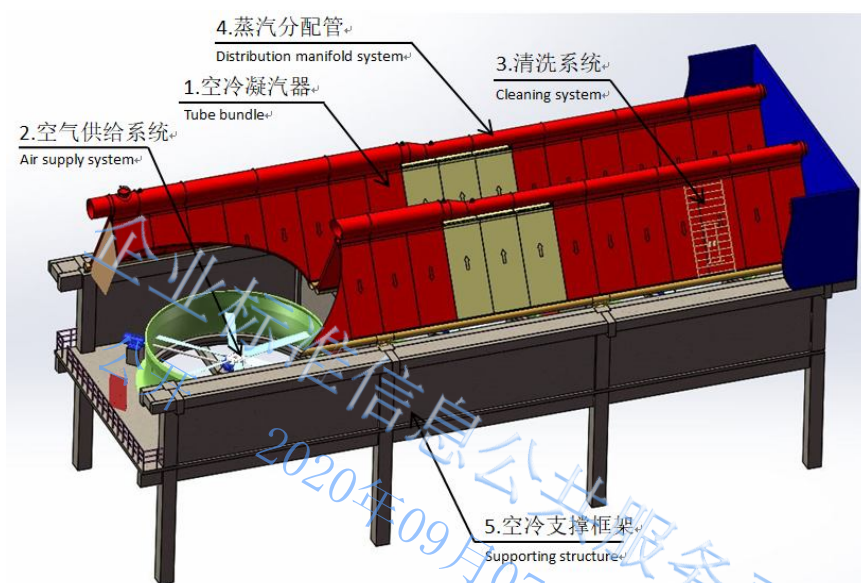


图2 双 A 型布置直接空冷

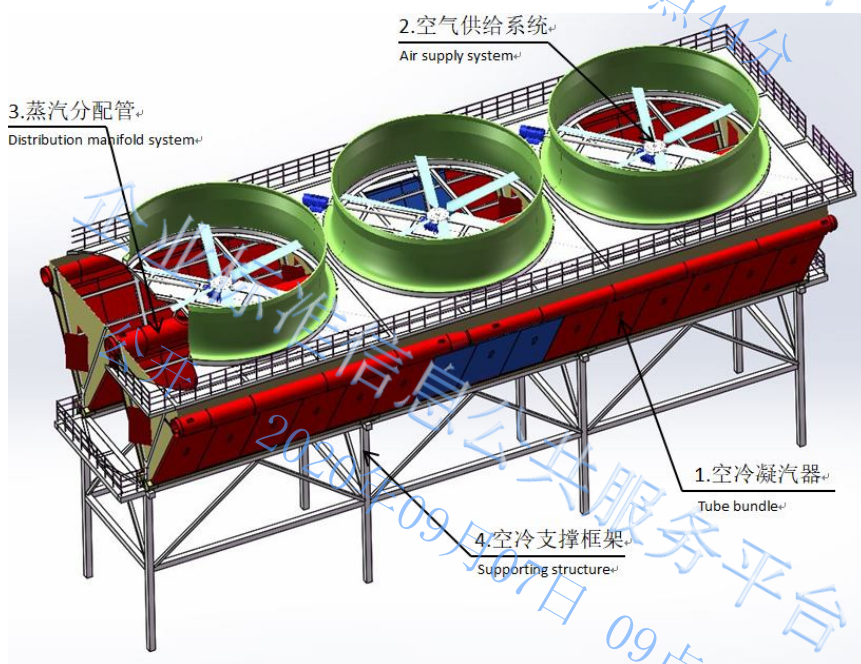


图3 双 V 型布置直接空冷

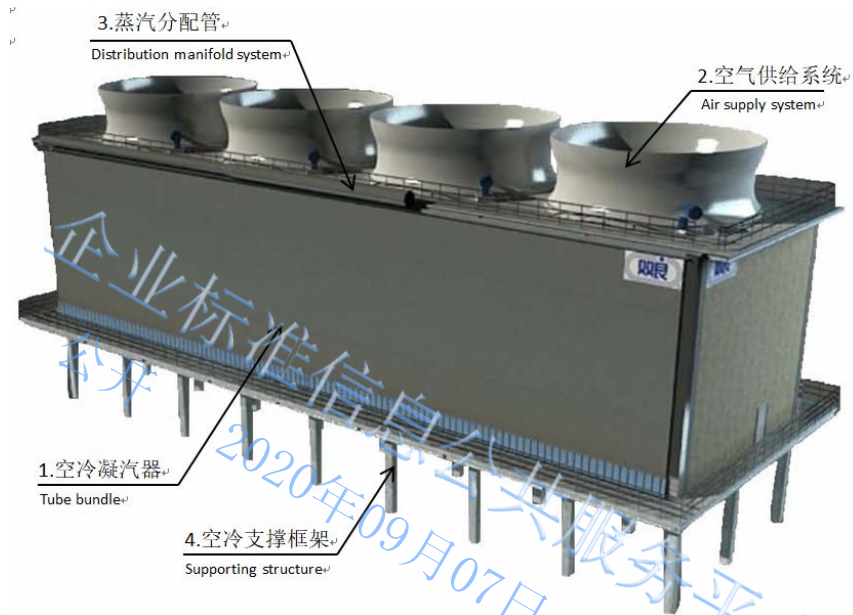


图4 垂直布置直接空冷（管束也可采用多边形垂直布置）

5.2 空冷凝汽器系统的主要组成部分

5.2.1 空气供给系统

一个典型的机械通风空气供给系统，包括风机、齿轮箱、电机、风筒及护网。

5.2.2 凝汽器

由顺流凝汽器单元和逆流凝汽器单元组成，如图5所示。

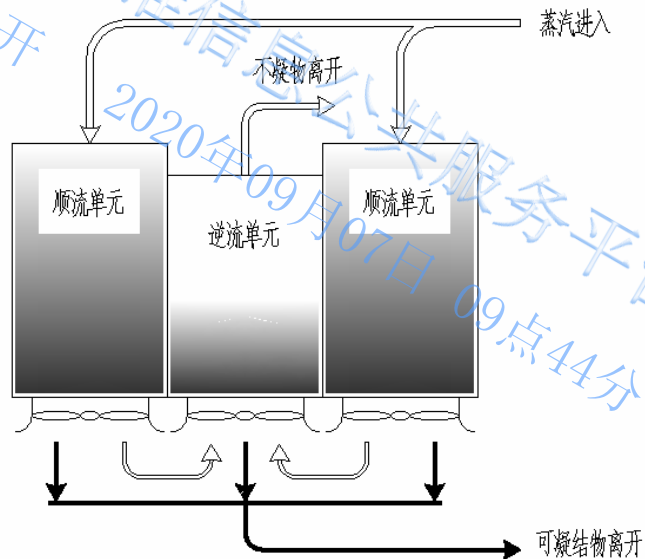


图5 空冷凝汽器

5.2.3 支撑结构体系

5.2.3.1 空冷支撑结构



空冷支撑结构通常是位于地坪面上合适高程处的支撑空冷凝汽器部件的支柱和支撑的一种布置,通常采用混凝土框架结构或钢支撑结构,也可采用混凝土框架和钢支撑组合使用的支撑结构。

5.2.3.2 管束平台

管束平台是管束凝汽器安装平台。

5.2.3.3 风机平台

风机平台是风机供给系统风机组的安装平台。

5.2.3.4 挡风墙

挡风墙通常安装在空冷凝汽器的周边。挡风墙的作用是降低环境风对管束出口空气流动和均匀传热的不利影响,并最大程度地减小热空气再循环的可能性。

5.2.3.5 楼梯

从地面到空冷平台的垂直交通的构件。楼梯可采用钢结构或钢筋混凝土结构。

5.2.4 蒸汽分配系统

由排汽管道及蒸汽分配管组成。

5.2.5 凝结水系统

由下联箱、凝结水管道、凝结水箱(或排汽装置热井)、凝结水泵等组成。

5.2.6 疏水系统

由疏水管道、疏水泵(如有)等组成。

5.2.7 抽真空系统

由抽真空管道、射汽抽气器(或水环真空泵)、汽封冷凝器等组成。

5.2.8 清洗系统

由高压清洗水泵、连接管道、快速接头、喷嘴及固定支架、高压软管、轨道、控制装置、控制电缆等组成。

5.2.9 电气系统

由配电系统、照明、检修、电缆及电缆构筑物、防火、防雷接地、通信、安全滑触线、电伴热系统等组成。

5.2.10 仪表系统

由就地仪表、远传仪表等组成。

6 设计

6.1 设计压力与温度



6.1.1 空冷凝汽器的最大设计压力为 0.05 MPa·g，最小设计压力为全真空(FV)。

6.1.2 设计温度为 120℃。

6.1.3 在蒸汽管道的某些位置，局部温度可能超过最大设计温度（比如，在旁路接口处），通常要求进入管道的旁路蒸汽的焓值 ≤ 2720 kJ/kg。

6.2 腐蚀余量

腐蚀余量是在满足结构和/或工艺要求所要求的厚度之上增加的材料厚度。对于与工艺流体（水蒸气）接触的所有表面建议根据表2取腐蚀余量值。

表2 典型腐蚀余量值

空冷凝汽器设备	典型腐蚀余量值
管道	1mm
传热管	0mm
配管	1mm
水箱	1mm

6.3 空气供给系统设备选择指导原则

6.3.1 风机选择

6.3.1.1 应选择轴流风机。为了满足空冷凝汽器的热容量，风机的负荷点由要求的空气流量和相应的风机静压确定。

6.3.1.2 风机流量和静压的裕量：

- 对于环境风对空冷系统影响不大的情况，在增大风机安装角条件下，风机流量留有 $\geq 10\%$ 的裕量，风机静压留有 $\geq 21\%$ 的裕量。
- 对于环境风速较大的项目，除满足上述要求外，还应校核计算环境风所引起的附加的风机静压对风机运行点的影响，满足风机在大风条件下不出现失速或喘振的要求。

6.3.1.3 风机的叶片宜采用非组装型的整体玻璃钢(FRP)叶片，也可采用铝合金叶片，鼓风式风机应配备进风口钟型整流罩(风筒)，材质宜采用玻璃钢，也可采用钢/玻璃钢复合风筒（直段钢制风筒+玻璃钢喇叭口）；引风式风机应配备曲线型风筒，材质采用玻璃钢。风机叶片以及风筒的材质应适应当地极端最低温度环境，能在当地环境下长期稳定的运行，应防止冷淬事故发生。风筒内壁与风机叶片端部的间隙(S)与风机直径(D)的比值(2S/D)宜控制在 0.008~0.01，鼓风式风机的风筒下方应设置安全防护网，引风式风机的风筒上方可不设置安全防护网。

6.3.1.4 风机叶尖速度不应超过风机制造商对所选择风机类型规定的最大值。除非需方同意，否则风机叶尖速度不应大于 60m/s。风机的噪音控制应满足 GB12348《工业企业厂界环境噪声排放标准》的要求。

6.3.1.5 叶片数量一般取偶数片，不宜小于 6 片。

6.3.1.6 风机静压效率不宜低于 60%。

6.3.1.7 采用变频调速时，风机一般应能从 30%~110%转速范围内长期稳定运行。逆流风机应能在 0~50%转速范围内反转运行。

6.3.1.8 所有叶片均应按照基准叶片进行重量和力矩的平衡。风机供应商应提供风机正常运行和叶片折断时的不平衡力，以及运行频率及固有频率，作为风机桥架等设计的依据。

6.3.2 电机选择



6.3.2.1 根据风机轴功率选择电机额定功率。对于小于等于 200kW 的电机，通常使用 380V/3 相/50Hz 全封闭风机冷却电机。F 级绝缘和 B 级温升。

6.3.2.2 汽轮机背压控制和/或防冻将决定是否需单速、双速电机或变频电机以便提供足够数量的控制步骤。当采用变频调速时，电动机的性能应能满足变频运行的要求。

6.3.2.3 电动机应优先选用高效、节能的电机，一般采用 4 极或 6 极电机。

6.3.2.4 在选择电动机容量时，应充分考虑电动机安装地点的海拔高度和冷却介质温度变化对电动机出力的影响。电机的额定功率应满足：

- a) 电机有超速运行要求的，电机额定功率满足夏季超速运行的要求；
- b) 单速电机和双速电机，满足最低环境温度时的风机额定风量运行的功率要求；
- c) 在满足最大功率要求的条件下，电机功率的裕量通常为 3%-5%。

6.3.2.5 电机额定功率的判断根据式(1)核算，额定电机功率应大于在设计点时要求的电机输出功率：

$$P \geq (P_{\text{shaft}}/0.97) \times (273+T_d) / (273+T_{\text{min}}) \dots\dots\dots (1)$$

式中： T_d 和 T_{min} 的单位为℃

6.3.2.6 在校核低温环境电机功率时，尽管从动负荷在低于该点的温度时可能超过铭牌值，但由于有附加的冷却可用，式中 T_{min} 通常取 5℃，这对于电机供应商通常是可接受的，但应当获得电机供应商的确认，这仅适用于电机在冷环境空气流中时的强制通风配置。

6.3.3 齿轮箱选择

根据电机转速和风机转速确定合适的减速比。减速箱宜采用两级传动、平行轴斜齿轮或螺旋齿轮，传动效率不宜低于97%，当布置需要时，也不限制正交轴齿轮箱的使用。根据电机铭牌功率，齿轮箱的服务系数应 ≥ 2.0 ；根据电机铭牌功率，齿轮箱的热额定值在最高气温下应 ≥ 1.0 。齿轮箱可能的附件有逆止器、轴驱动油泵、油压/油位开关、油加热器和恒温器、输入联轴器，根据实际需要选择配置。

6.4 进风影响

6.4.1 冷却空气通过进风口流进空冷凝汽器风机。如图 6 所示，在大多数情况下，进风口的部分区域将被障碍物（如蒸汽管道、其他设备或建筑物）挡住，即使障碍物不位于空冷凝汽器下方或进风口处，这些物体仍可以被认为是遮挡，当处在一条从等于距离空冷凝汽器一个进风口高度的点引出的 45 度线以下的障碍物对空气流入空冷凝汽器的影响可以忽略不计。

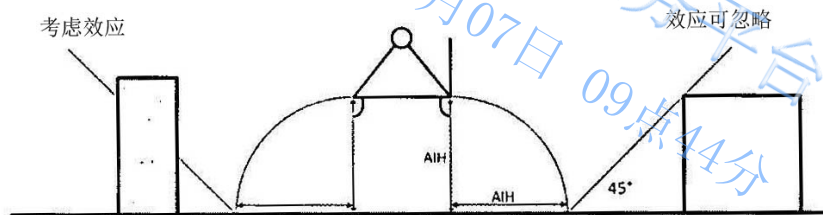


图6 空气进口遮挡考虑

6.4.2 为了最大程度地减少热风再循环，建议在空冷凝汽器出口处的平均空气流速应等于或大于空冷凝汽器进口处的平均空气流速，进、出风口平均流速都应基于有效流动面积。此外，平均进风口速度宜控制在 5 m/s 以下，并根据现场实际情况优化进风速度，以促进所有风机空气分配均匀，并以此确定风机平台高度。



6.4.3 计算风机静压时,应考虑以下阻力损失:进风口局部阻力、风筒及护网阻力(如有)、风机桥阻力(如有)、管束阻力、自然通风校正影响、进风口与出风口消音器阻力(如有)。

6.4.4 每个单元都应用隔墙隔离(鼓风式在风机排风侧,引风式在风机吸风侧)。

6.4.5 空冷凝汽器下方和四周的障碍物及设备布置应与制造商进行协调,主要包括:电气设备相关建筑物、冷凝水箱、抽真空设备、凝结水泵/疏水泵、其他换热器、电缆槽和其他障碍物。

6.5 翅片管清洗系统

6.5.1 翅片管清洗系统的用途是清洁管束外部传热表面,以使空冷凝汽器管束换热能力恢复到接近初始能力。凝汽器上的污垢主要由灰尘、羽毛、树叶、昆虫、柳絮杨絮、塑料袋等积累造成,污垢会显著降低空冷凝汽器的性能,空冷凝汽器应至少每年清洗一次,通常是在夏季开始之前清洗。

6.5.2 翅片管束使用高压水清洗。清洗水应采用除盐水,停机清洗时可临时采用工业软水。对于单排管,清洗水泵水压不应小于 8MPa,并对高压侧固定管道的最高流速进行限制,避免阻力损失过大。

6.5.3 清洗水泵宜设在地面 0m 处,可采用固定或移动式泵组。清洗系统固定管道采用不锈钢管道,移动部分的管道采用高压软管。安装在管束上的上部清洗装置可采用手动、或半自动。

——手动清洗系统:安装在管束上的清洗喷嘴架水平、垂直移动方式均采用手动,即由人工操作移动。

——半自动清洗系统:安装在管束上的清洗喷嘴架水平、垂直两个方向的移动方式中的一种移动或两种采用自动移动,但均需有一定程度的人工操作。

7 空冷凝汽器性能/运行

7.1 概述

7.1.1 空冷凝汽器的性能依据“考核工况”规定的条件进行设计,只有当系统已经稳定运行,并且各项条件接近“考核工况”规定的条件时,才能进行性能考核。

7.1.2 空冷凝汽器的性能与系统的真空严密性密切相关,需要配置一套满足第 10 章中规定能力的抽真空设备,如果系统的干空气泄漏量超过第 10 章中规定值的 50%,空冷凝汽器的性能将无法得到保证。

7.1.3 汽轮机配套的给水加热器、抽气管道、旁路喷淋器或相关设备的布置,应反馈给空冷凝汽器制造商,以便其核实空冷凝汽器的性能。

7.1.4 当环境温度降至零下后,如果需要降低热负荷,应确保满足空冷凝汽器系统的最小防冻热负荷。

7.2 热力性能—汽轮机背压、蒸汽流量、进风温度、海拔高度以及风机功率之间的关系

空冷凝汽器的设计,必须考虑系统中不凝性气体的含量和蒸汽压降的影响。空冷凝汽器的传热系数通常由实验室测得,工程应用中的传热系数一般低于实验室测得的传热系数,称为“应用传热系数”。

一般的传热方程为:

$$Q = K A LMTD$$

$$Q = \dot{m}_{air} C_p ITD \quad \varepsilon = 1 - \frac{KA}{\dot{m}_{air} C_p e}$$

$$ITD = T_{in} - T_{air,in}$$

$$Q = \dot{m}_{air} C_p \Delta T_{air}$$



$$Q = \sum \dot{m}_{in} h_s - \dot{m}_{out} h_w - \dot{m}_{vent} h_{vent}$$

系统排出的不凝性气体的热量很小且通常被认为是可以忽略不计的；因此，上述方程可以简化为：

$$Q = \sum \dot{m}_{in} h_s - \dot{m}_{out} h_w$$

应用传热系数(K)结合了管束内部的对流传热、通过管壁和翅片的传热以及翅片外部的对流传热。

空冷凝汽器的主要热阻在于空气侧，它取决于基管和翅片的几何形状。因此，传热系数随管束的特征而变化。

蒸汽温度与蒸汽压力相对应，因此，对于一个给定的初始温差（ITD），背压将随着进风温度而变化(见图7)。

由以上公式可以证明，如果忽略蒸汽侧压力损失的影响，热负荷和初始温差（ITD）成正比。

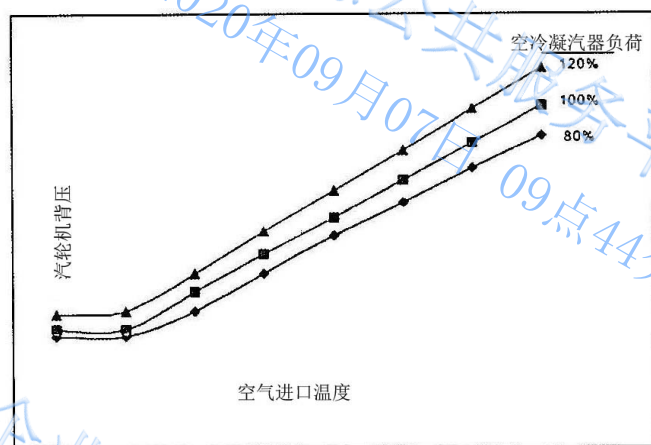


图7 空冷凝汽器运行特性

7.2.1 影响空冷凝汽器性能的其他因素：

7.2.1.1 迎面风速

迎面风速与流经换热管束的空气质量流量成正比，并且对空冷凝汽器的传热系数有显著影响。

7.2.1.2 空气密度

空气质量流量与空气密度成正比，且对空冷凝汽器的传热系数有影响。空气密度与空气干球温度、大气压力以及相对湿度有关。由于相对湿度对空冷凝汽器换热性能的影响很小，在热力计算中可以忽略不计。

7.2.1.3 污垢

参见7.5条。

7.2.1.4 蒸汽特性

根据蒸汽的流量、焓值，可计算出进入空冷凝汽器的热量。

7.2.1.5 不凝性气体



不凝性气体的聚集,会导致空冷凝汽器换热能力的下降;并且当环境气温降至零度以下,可能导致管束内的凝结水冻结,导致管束变形。

7.2.1.6 噪音

低噪音设计的空冷凝汽器通常迎面风速和风机转速较低。因此,需要较大的散热面积,并且对风的影响更敏感。

7.2.1.7 环境风

参见7.14条。

7.2.1.8 降水

由于蒸发冷却,降水有利于空冷凝汽器的换热性能;但降水会导致翅片表面结垢,导致换热性能下降。

7.2.1.9 太阳辐射

参见7.15条。

7.3 除氧器与含氧量

在实际运行中,如果没有除氧器,空冷凝汽器凝结水的含氧量(DO)一般不超过50 ppb,详见表3。在一些特定的条件下,可以采取以下方式,使凝结水的含氧量不超过20 ppb。

7.3.1 抽真空设备的实际抽气需求与设计能力的比值不应大于下表中的值。

表3 抽真空设备的实际抽气需求与设计能力的比

抽真空设备的设计能力 ^a	实际抽气需求与设计能力之比 ^b	凝结水中的含氧量
0 - 0.57m ³ /min	50%	50 ppb
	35%	20 ppb
0.57-1.13 m ³ /min	50%	50 ppb
	25%	20 ppb
> 1.13 m ³ /min	详见注 c	详见注 c
注a: 抽真空设备的设计能力应满足第9节的要求。 注b: 该处比值是抽真空设备在3.4kPa(a)时的额定能力。 注c: 对于设计能力超过1.13 m ³ /min的抽真空设备:当实际抽出的不凝性气体不超过0.57m ³ /min时,凝结水中的含氧量约为50 ppb;当实际抽出的不凝性气体不超过0.28m ³ /min时,凝结水中的含氧量约为20 ppb。		

7.3.2 原则上,不应有不凝性气体进入凝结水箱的液面以下。进入空冷凝汽器的所有蒸汽或疏水的接口位置应经过双良冷却的确认,可能的泄漏点如下:

- 汽轮机低压缸排汽口(或排汽装置的排汽口)与空冷凝汽器的接口处;
- 与真空系统相连的焊缝、液位计、仪表管、气液分离器、填料压盖、法兰等;
- 在常压下运行的低压加热器冷凝水排水口及排气口;
- 含氧量较大的补给水;
- 闭式系统中的凝结水膨胀水箱。

7.3.3 如果其他系统(如工艺过程系统、热电联产系统等)的冷凝水需进入空冷凝汽器,那么这些冷凝水的含氧量应不超过规定值;如果含氧量超标,必须增加除氧设备。



7.3.4 对于其他没有定义的疏水，用户应负责将这些疏水的含氧量降至规定值以下后，方可进入空冷凝汽器。

7.3.4.1 为了达到设计指标，应使用真空除氧器，将凝结水的含氧量降至 7 ppb。

7.3.4.2 无论是否使用真空除氧器，在启动过程中、低负荷运行工况（低于设计工况的 25%）或防冻控制模式下，冷凝水的含氧量都必须小于表 3 的要求值。

7.4 凝结水过冷度

凝结水过冷度的定义：汽轮机低压缸（或排汽装置）排汽口处蒸汽的饱和温度与凝结水箱出口处凝结水温度的差值。过冷度的计算参照 JB/T 10085 汽轮机凝汽器技术条件。

7.5 污垢系数和性能余量

7.5.1 污垢系数（F）用于应用传热系数与清洁状态的传热系数的比较，并由式（2）定义：

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_c} + F \dots \dots \dots (2)$$

7.5.2 空冷凝汽器的污垢系数（F）一般为 0.0005 m²K/W，综合考虑了蒸汽侧污垢和空气侧污垢。空冷凝汽器需配置一套管束清洗系统，用来去除附着在管束表面的污物，例如空气中的粉尘等。

7.5.3 如果用户对空冷凝汽器的设计余量有要求，建议用户通过增加蒸汽流量的设计值来定义该余量，这种方式是可以通过现有的性能试验规范来测试和验证的。而不是要求备用风机单元、增加额外换热面积或在性能试验期间停用若干风机等，这些方式会导致性能试验期间蒸汽和空气分配不均匀，影响性能试验的结果。

7.6 蒸汽侧压损

7.6.1 蒸汽侧压降计算是空冷凝汽器热力设计的一部分。为了最大程度地降低空冷凝汽器的总投资成本，通常根据以下要求对排汽管道的口径和布置进行优化：

- a) 优化管内流速
- b) 减少排汽管道布置时的不必要的弯头
- c) 通过设置导流片来减小阻力系数
- d) 优化蒸汽分配管的设计

7.6.2 管道内最大流速见图 8。

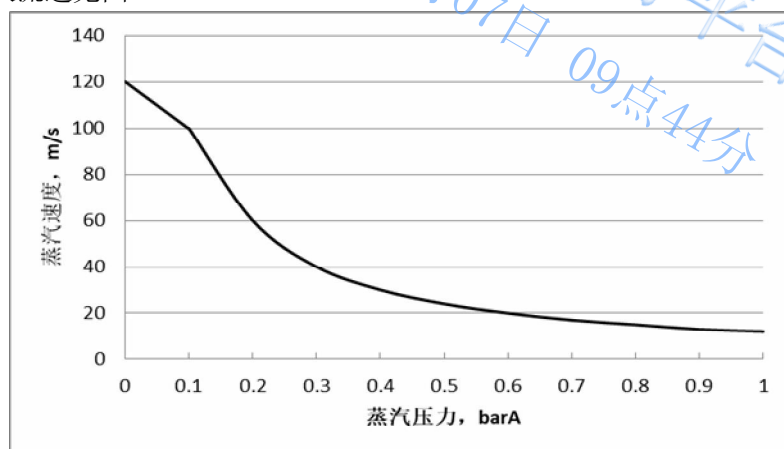


图8 推荐的管内流速



7.6.3 排汽管道系统部件（如排汽主管道、分支管道、上升管道、蒸汽分配管等）的尺寸应通过蒸汽流速来确定。一些特定的限制条件（如汽轮机排汽口的位置、汽轮机平台支柱的位置等）外，局部排汽管道的尺寸应满足蒸汽流速的要求。

7.6.4 如果系统中有其他部件需要安装在排汽管道上，应考虑这些部件对蒸汽流通面积的影响。

7.7 空气侧阻力

空冷凝汽器采用强制通风的方式，使周围环境中的冷空气通过换热管束表面，带走热量，因此，风机系统的选型必须能够克服空气侧的阻力，并提供系统所需的空气流量。

7.7.1 空气侧阻力包含以下几部分

7.7.1.1 进风口阻力

包括从横向风转为竖向风的压力损失。进风口的高度由进风速度确定，进风速度一般不超过5m/s。

7.7.1.2 风机防护网及风筒喇叭口

这两部分的压力损失取决于其安装位置及几何形状。

7.7.1.3 风室

随着空气从风筒排向风室，空气流动路径突然扩大，从而产生膨胀损失，该部分损失取决于风室的几何形状和空气性质（即速度和密度）。

7.7.1.4 风机桥架

风机桥是风机系统（即风机、电机和齿轮箱）的支撑结构。该部分压力损失取决于风机桥架的结构、类型及其与风机的距离。管束布置形式采用水平、垂直、双V形或双A形等布置结构时，也可不设置风机桥架。

7.7.1.5 管束

气流通过换热管束时产生的压力损失。该部分压力损失包括管束表面的进口损失、通过管束表面的损失以及管束出口的排放损失。该部分压力损失取决于翅片管的设计。这也是系统内的主要压降，一般占空气侧总压降的50~70%。

a) 管束进口：气流从风室转向换热器管束时产生的压力损失；

b) 管束出口：气流从换热管束出口转向空冷凝汽器出风侧产生的压力损失。

7.7.1.6 自然通风校正

空冷凝汽器出风侧排出的热风会产生部分升力，这是对系统通风有利的因素，且与挡风墙高度以及空冷凝汽器进风侧与出风侧空气的密度差有关。由于该部分升力很小，一般忽略不计。

7.7.1.7 进风口与出风口的消音器（如需）

部分用户对空冷凝汽器的噪音要求极为严苛，可能需要在进风口或出风口设置消音器来降低噪音，这些消音器也会产生压力损失。

7.8 进风口温度



7.8.1 空冷凝汽器的性能取决于冷却空气的干球温度。需要注意的是，空冷凝汽器周围的空气温度可能与环境的空气温度不一致，环境温度不能代表进入换热器管束的空气温度。进入空冷凝汽器的空气温度可能受到以下不利因素的影响：

- a) 热风再循环；
- b) 其他换热器排出的热空气；
- c) 其他热源。

7.8.2 空冷凝汽器在整个厂区的布置位置，应结合夏季主导风向及其他热源的位置综合考虑。

7.9 系统的功耗

7.9.1 风机驱动电机的功耗是空冷凝汽器性能考核的重要指标。

7.9.2 除了风机电机的功耗，还可能存在以下额外的功耗：

- a) 齿轮箱加热器（如有）；
- b) 真空泵（如有）；
- c) 疏水泵（如有）；
- d) 凝结水泵；
- e) 清洗水泵；
- f) 喷雾水泵（如有）；
- g) 电动阀门（如有）；
- h) 仪表；
- i) 电机空间加热器；
- j) 电伴热；
- k) 照明；
- l) 检修；
- m) 电缆损失、变频器损失等。

7.9.3 在计算风机驱动电机的功耗时，应考虑减速机效率（通常为 97%）和电机效率（91%~95%）。注意，较小的电机（<37kW）和三角皮带驱动器效率更低。

7.9.4 风机的消耗功率与空气的密度相关。在风机转速恒定的情况下，空气温度越低，风机的消耗功率越大。因此，电机的额定功率一般需留有 5%~10% 的余量（对应考核工况的消耗功率）。

7.9.5 空冷凝汽器通过调整风机转速来达到各种运行工况下所需的换热性能。这通常涉及：

- a) 单速电机—开/关风机；
- b) 双速电机—全速/部分速度/停机之间切换；
- c) 变频电机—调整风机转速。

7.10 防冻性能

7.10.1 随着环境空气温度的降低，在冷凝压力不变的情况下，空冷凝汽器的换热能力将会增加。在汽轮机允许的压力波动范围内，其压力是允许随着环境空气温度波动的，最低运行压力的限制取决于：

- a) 直接空冷凝汽器系统阻力；
- b) 汽轮机的阻塞背压；
- c) 抽气设备的极限抽真空能力。

7.10.2 通常，可以通过调整风机转速来达到所需的最低压力。

7.10.3 如果所有风机停运之后仍无法满足防冻需要，可以通过关闭隔离阀来减少实际换热面积。一般来说，风机的消耗功率越大，空冷凝汽器可适应的环境温度范围越广。



7.10.4 当环境温度降至 0°C 以下, 如果不凝性气体在系统内局部聚集, 将会形成死区, 导致凝结水温度降低, 可能导致换热管内的凝结水结冰破坏管束, 因此需采取可靠的防冻措施来确保空冷凝汽器安全可靠运行。

7.11 低负荷运行

7.11.1 低负荷运行是蒸汽负荷低于空冷凝汽器设计值的一种运行状态。用户应提出汽轮机的最低运行负荷以及对应的最低环境温度, 以便双良冷却进行相应的防冻设计。

7.11.2 在低负荷运行时, 可利用的换热面积比计算所需的换热面积更大; 当环境温度高于 0°C 时, 如果系统内形成了死区, 只会影响空冷凝汽器的换热效率以及凝结水的含氧量。

7.11.3 当环境温度低于 0°C 时, 低负荷运行将会产生 7.10 条所述的防冻问题, 此时将会更易形成死区或在更高的温度下形成冻结 (相对于正常运行负荷)。

7.11.4 低负荷运行持续的时间需要评估, 一般指持续运行 (大于 $4\sim 6\text{h}$) 的最低负荷。可通过设置隔离阀、优化控制逻辑来确保系统安全可靠的运行。

7.12 性能曲线

7.12.1 双良冷却根据规定的性能试验规范提供性能曲线。

7.12.2 性能曲线应是所有风机在额定转速时生成的曲线。也可以生成风机在其他转速 (如 30%、50%、75%、110%) 运行时的曲线。

7.12.3 性能曲线应清楚地标识空冷凝汽器的最小运行压力。

7.13 性能试验

性能试验应按技术协议规定的性能试验规范, 如 DL/T 244、VGB 131Me 或 ASME PTC 30.1 进行测试。

7.14 环境风对空冷凝汽器性能的影响

7.14.1 环境风对空冷凝汽器性能的影响主要有两个方面:

7.14.1.1 热风再循环: 图 9 所示, 在特定的风速和风向条件下, 使空冷凝汽器排出的热风被带到进风口附近, 导致进风温度的升高和空冷凝汽器性能的下降。热风再循环将导致空冷凝汽器内部各单元冷凝负荷的不平衡。实践证明, 如果进风速度低于排风速度, 产生热风再循环的可能性将会降低。此外, 应分析空冷凝汽器与其他大型建筑物或构筑物之间的位置关系, 以便评估其对热风再循环可能性的影响。

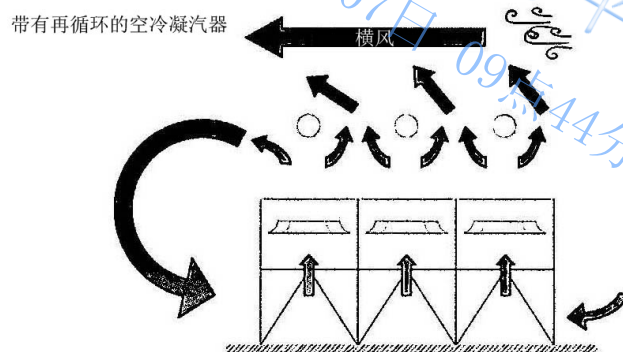


图9 带有热风再循环的空冷凝汽器

7.14.1.2 横切风的影响: 较高的风速可干扰空冷凝汽器进口、风机以及空冷凝汽器出口的气流。



- a) 空冷凝汽器进风口与出风口: 空冷凝汽器的支撑结构和其他装置的支撑结构或障碍物周围的高风速可以导致局部涡流和流动干扰, 从而降低通过换热管束的空气流量。这将导致空冷凝汽器性能的下降。
- b) 风机: 图 10 所示, 较高的环境风速将导致空冷凝汽器进气气流的阻力增加, 将引起风机的静压升高、流量降低, 从而导致空冷凝汽器性能的下降。通常, 受此影响最大的风机是位于空冷凝汽器迎风面上的风机, 可以通过设置挡风板或其他装置来减轻这些影响。

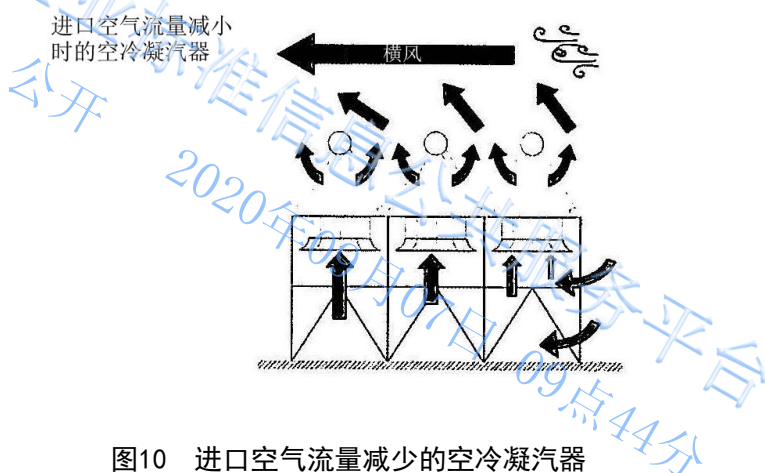


图10 进口空气流量减少的空冷凝汽器

7.14.2 应选择压力余量较大的风机。通常情况下, 风机的静压余量越大, 空冷凝汽器越不容易受到环境风的影响。这就是低噪音空冷凝汽器(风机转速低、静压余量小)通常对环境风影响更敏感的原因。

7.15 太阳辐射的影响

对于一个给定的位置, 空冷凝汽器上的辐射量由最大太阳辐射通量确定。通常太阳辐射对空冷凝汽器的性能影响可以忽略, 但双良冷却仍会考虑一定的折减系数, 来确保空冷凝汽器的实际性能能够达到设计值。

8 仪表与控制

8.1 空冷凝汽器控制仪表

8.1.1 空冷凝汽器应配备足够数量的仪表来监测工艺条件。应包括就地仪表、远传仪表(如 Pt100, 变送器, 开关)和其他装置。仪表将包含在空冷凝汽器在规定的运行工况范围内的控制和保护。至少应监视以下工艺条件:

8.1.1.1 背压(或称排汽压力)和相应的蒸汽温度: 应设 3 只压力变送器、1 只温度传感器、1 只就地压力表、1 只就地温度计; 应安装在汽轮机排汽出口或排汽管道水平母管上。

8.1.1.2 凝结水箱中冷凝水温度: 应设 1 只温度传感器和 1 只就地温度计, 安装在凝结水箱低水位以下。

8.1.1.3 下联箱凝结水温度: 至少在每列的两侧凝结水排水管各设一只温度传感器。正确安装这些温度计套管使得可以测量集管底部流动的冷凝水的温度而不是蒸汽空间温度, 通常设置在下联箱排水口附近的凝结水水平管线上。

8.1.1.4 上联箱抽气温度: 每列的抽真空管线上至少设一只温度传感器。

8.1.1.5 疏水管温度: 冬季使用的空冷凝汽器, 设置独立的室外疏水管线时, 宜在疏水管线上设一只温度传感器。



- 8.1.1.6 环境温度：应设三只温度传感器安装在地面到空冷平台高度的 1/3 处，或安装在楼梯转角平台下方，并应避免受太阳辐射。
- 8.1.1.7 凝结水箱水位：在凝结水箱上应设三只液位变送器和一只就地液位计。
- 8.1.1.8 疏水罐水位：在疏水罐上应设三只液位变送器和一只就地液位计，疏水罐与凝结水箱联通的可不设置。
- 8.1.1.9 齿轮箱油压或油位：每个齿轮箱应设置一个压力开关或者油位开关。
- 8.1.1.10 齿轮箱油温：每个齿轮箱应设置一个油温传感器。
- 8.1.1.11 齿轮箱油加热器：项目所在地冬季极端气温在-10℃以下，空冷凝汽器每个齿轮箱应设置润滑油电加热器。
- 8.1.1.12 风机转速：对于每个单独的风机，应通过从电机控制中心（MCC）的反馈来监测风机电机转速状态，同时宜监测风机电机运行电流。
- 8.1.1.13 自动控制阀：每只自动控制阀的阀位应通过限位开关或阀门定位器来监测。
- 8.1.1.14 风机振动：每个风机驱动总成应设置一只振动开关或变送器。通常设置在齿轮箱附近的风机桥架上。
- 8.1.1.15 电动机线圈温度：每台风机电动机宜设置线圈温度热敏开关（PTC）或传感器（Pt100）。
- 8.1.1.16 仪表的选型和安装设计参照 GB 50093《自动化仪表工程施工及质量验收规范》、HG/T 20507《自动化仪表选型设计规范》、SH/T 3005《石油化工自动化仪表选型设计规范》、SH/T 3104《石油化工仪表安装设计规范》执行。

8.2 空冷凝汽器控制与防冻控制

8.2.1 控制说明

- 1) 控制系统通过对运行风机台数及风机转速进行自动控制，进而使冷却空气的流量与运行条件（各工况下的蒸汽量及环境温度）相协调，最终控制背压在设定值。
- 2) 控制系统通过控制凝结水泵运行台数，以及凝结水循环阀和排水阀的开度，保证凝结水箱中的液位在规定的范围内。
- 3) 控制系统通过控制疏水泵运行台数，疏水泵频率（或者疏水循环阀和排水阀的开度），保证疏水箱中的液位在规定的范围内。
- 4) 通过控制射汽抽气器和启动抽气器将系统不凝性气体抽出。在启动阶段，投入启动抽气器，正常运行时由射汽抽气器维持真空。
- 5) 冬季旁路系统（如有），控制系统通过控制调压阀开度、减温阀开度使旁路系统出口压力、温度在 ACC 设计压力、设计温度范围内。

8.2.2 空冷凝汽器防冻控制

- 8.2.2.1 防冻控制的目的是防止空冷凝汽器在冬季运行期间因发生过冷而导致翅片管冻结。防冻控制是指在冬季工况下，对空冷凝汽器实现防冻保护控制，其在空冷手动和风机自动模式均激活。
- 8.2.2.2 防冻保护包括顺流管束单元的防冻保护、逆流管束单元的防冻保护、逆流管束单元的回暖运行。防冻保护的优先级别从高至低依次为：顺流管束单元的防冻保护、逆流管束单元的防冻保护、逆流管束单元的回暖运行。
- 8.2.2.3 如果下联箱凝结水温度过冷，顺流凝汽器防冻保护将启动；如果抽真空温度过冷，逆流凝汽器防冻保护将启动。

8.3 隔离阀的数量选择



8.3.1 当环境温度低于 0°C 时，如果进入空冷凝汽器的蒸汽流量低于要求的最小防冻流量时，必须设置一定数量的隔离阀，人为的减少实际投运换热面积。

8.3.2 蒸汽隔离阀的数量应根据最低环境温度及对应的最小运行负荷确定，同时考虑极端条件的启动工况。

8.4 疏水集液箱的容量

疏水集液箱的容量由蒸汽的干度、进入疏水集液箱的其他疏水量（如有）确定，在疏水泵停运的情况下，其高低液位之间至少应能保持5min疏水集液量。如果排汽管道中的疏水设计为自流进入凝结水箱，则不需要设置疏水集液箱。

8.5 凝结水箱的容量

凝结水箱的容量由汽轮机的排汽流量确定，在凝结水泵停运的情况下，其高低液位之间至少应能保持5min凝结水集液量。

9 其他接口

9.1 概述

9.1.1 进入空冷凝汽器的各类接口应统筹考虑，以便确保在系统正常运行阶段不会对排汽管道、疏水集液箱、凝结水箱等造成不利影响。

9.1.2 由于每个接口都会有不同的流量和特性（压力、温度），设计接口位置时应分散布置。如果进入空冷凝汽器的介质特性超过了空冷凝汽器的设计值，应减温减压至满足条件后方可进入，一般要求是介质的压力不超过 30kPa (g) 、温度不超过 110°C 。

9.1.3 空冷凝汽器的设计温度通常为 120°C ，进入空冷凝汽器的各类介质的焓值应不大于 2720kJ/kg 。

9.2 流量

9.2.1 提供给双良冷却的各接口的流量应是准确的，并应说明相应介质的使用条件（如启动阶段、连续运行），双良冷却据此设计接口的规格及位置，避免设计工况与实际操作工况发生偏离。

9.2.2 提供给双良冷却的各接口的设计条件应是在空冷凝汽器的接口处，而不是在各类阀门的上游接口处。

9.3 接口位置

9.3.1 在设计阶段必须优先考虑排汽管道、疏水集液箱、凝结水箱和/或闪蒸箱上的接口，压力、温度较高的介质（如汽轮机疏水）应引到闪蒸箱内进行闪蒸及喷淋降温，将介质的焓值降低至空冷凝汽器的允许值。闪蒸箱的排汽口应接入排汽管道。

9.3.2 为确保空冷凝汽器的完整性和可操作性，各类接口推荐的位置详见表4。



表4 进入空冷凝汽器的各类接口的推荐位置

	排汽管道	疏水集液箱	凝结水箱	除氧器	闪蒸箱
要求除氧的低温疏水	NR	NR	NR	1	NR
不要求除氧的低温疏水	2	2	1	NR	2
补水	NR	2	1	1	NR
凝结水泵再循环	NR	NR	1	NR	NR
疏水泵再循环	NR	1	NR	NR	NR
锅炉给水泵汽轮机排汽口	1	NR	NR	NR	NR
汽封疏水	2	NR	NR	NR	1
高温蒸汽疏水	NR	NR	NR	NR	1
高温疏水	NR	NR	NR	NR	1
汽轮机旁路排汽	1	NR	NR	NR	NR
给水加热器疏水	2	NR	NR	NR	1
其他疏水和排气口	根据上述类似的应用确定位置				
注：1 =最佳选择，2 = 良好，3 = 可接受，NR——不推荐					

9.4 接口设计原则

9.4.1 每个接口必须提供完整的设计条件（压力、温度、焓值、流量等），且必须明确接口处的使用条件（连续运行、间断运行、启动阶段运行）。

9.4.2 进入空冷凝汽器的蒸汽焓值一般不应超过 2720kJ/kg。

9.4.3 进入空冷凝汽器的蒸汽压力不应超过 30kPa(g)。

9.4.4 其他系统的高压泄放应朝向大气，如果必须朝向空冷凝汽器，需评估其对空冷凝汽器的影响，空冷凝汽器设计时应考虑这部分不利影响。

9.4.5 当介质条件超过上述要求时，应设置减温减压装置，使最终进入空冷凝汽器的介质满足上述要求。

9.4.6 在确定排汽管道的规格时，应考虑进入空冷凝汽器的其他介质流量，保证管道内的流速不超过 6.6 节中所要求的流速。

9.4.7 设计温度超过 120℃的接口处应设置隔热套管。

9.4.8 在风机组和抽真空设备投入运行之前，汽轮机的闪蒸疏水不得进入空冷凝汽器。

9.4.9 表 3 中列出的各类接口不得位于液位以下，以及现场焊缝、内部支撑、弯头、膨胀节和爆破膜附近。

9.4.10 各类接口（除各类表计外）尽量避免集中布置，以防大量的蒸汽对汽轮机排汽造成干扰。高温高压的疏水排放管线必须远离凝结水/疏水回流管线，以防管道产生损坏。

9.4.11 如果排汽管道内没有足够的流通面积来安装汽轮机旁路的减温喷淋器，那么应在蒸汽管道上设计一个局部扩径或单独设置减温器，将旁路蒸汽减温后进入排汽管道。

9.4.12 高温高压的疏水应首先进入闪蒸箱进行闪蒸降温。

9.4.13 所有带有气体的介质应设置汽水分离器和排气口，避免对接口产生破坏性的水击。

9.4.14 所有外部接管不应插入空冷凝汽器系统内部，以免影响系统内的蒸汽的正常流动。

9.5 汽轮机排汽接口

9.5.1 方位、位置和尺寸



9.5.1.1 用户/设计院应提供汽轮机的详细布置图,特别是汽轮机排汽接口(或排汽装置接口)的定位、规格尺寸、形状等细节,以便双良冷却设计排汽接管。

9.5.1.2 汽轮机排汽口一般分为底部排汽、轴向排汽、顶部排汽、横向/侧向排汽,也可能会有多个排汽口。

9.5.1.3 在进行空冷凝汽器的布置时,必须优先考虑汽轮机接口的位置和方位,并结合厂房内各装置的布置,避免影响主排汽管道的设计和空冷凝汽器的性能。汽轮机排汽口的位置和方位应便于空冷凝汽器主排汽管道的整体布置。

9.5.2 接口类型

9.5.2.1 汽轮机排汽口的连接方式一般分为焊接和法兰连接两种,用户/设计院应提供详细的连接方式,以便双良冷却进行设计。

9.5.2.2 空冷凝汽器属于真空换热设备,对系统的真空度较为敏感,因此,首选的连接方式是焊接,以减少系统泄漏的可能性。推荐采用焊接连接环的方式,该方式可以补偿管道在制造、运输和安装过程中产生的圆度偏差。

9.5.2.3 当采用法兰连接时,应使用O形圈或密封垫片,并应给出法兰面的公差要求。应避免金属与金属直接接触的密封方式。

- a) 法兰连接的汽轮机接口的端面和钻孔应满足汽轮机供应商提出的设计要求;
- b) 应提出法兰面的粗糙度要求;
- c) 法兰的密封面应为平面;
- d) 几何尺寸和公差要求应合理,并说明功能要求。

9.5.3 位移和沉降

9.5.3.1 用户/设计院应明确提出汽轮机排汽接口处的热位移。在设计中,应考虑汽轮机排汽接口、排汽管道支座和空冷凝汽器支撑结构之间的沉降差,除非另有规定,一般为 $L/1000\text{mm}$ (L 为各基础之间的距离)。

9.5.3.2 用户/设计院必须配合提供双良冷却所需的全部设计条件。用户的采购要求必须明确汽轮机排汽口的位移以及规定的沉降差。

9.5.4 接口力和力矩

9.5.4.1 汽轮机供货商必须规定汽轮机排汽口处能够承受的合理的外力和力矩,双良冷却所设计的排汽管道,其传递给汽轮机排汽口处的力和力矩必须满足该要求。

9.5.4.2 不允许用空冷凝汽器的排汽管道来支撑汽轮机。

9.5.4.3 用户/设计院必须配合提供双良冷却所需的全部设计条件。

9.5.4.4 除非另行规定,用户汽轮机应能承受在汽轮机接口附近安装一个非约束型膨胀节相关的内部真空力。内部真空力应加到9.5.4.1中规定的力和力矩上。用户的汽轮机基础设计应考虑这部分真空力和力矩。当汽轮机不能接受真空力时,用户有责任向双良冷却提出建议以便探讨备选设计方案。

9.5.5 汽轮机排汽膨胀节

9.5.5.1 为了吸收汽轮机排汽口处的热位移,并满足汽轮机排汽口处力和力矩的要求,一般需要在汽轮机排汽口处设置一个非约束型膨胀节。

9.5.5.2 如果用户规定了非正常情况下的设计温度、位移或载荷条件,则需另行考虑膨胀节的型式、材料和布置位置。在这种情况下,用户有责任向双良冷却提出建议以便探讨备选设计方案。



9.5.6 汽轮机排汽管道的结构设计

9.5.6.1 排汽管道属于大口径薄壁外压力容器,因此,需要设置外部和/或内部加强筋。用户对汽轮机进行支撑结构或其他设备布置时,应考虑这些加强筋的布置要求。

9.5.6.2 除非另行规定,否则双良冷却不考虑用户设备的支撑。如果需要支撑这类部件,那么用户有责任将这些详细要求提供给双良冷却。

9.5.7 汽轮机排汽流量分布

除非另行规定,汽轮机出口处的蒸汽流速、压力和密度分布假定是均匀的。

9.6 汽轮机旁路

9.6.1 概述

9.6.1.1 全面评估汽轮机旁路的设计参数对空冷凝汽器的安全运行是非常重要的。操作要求和客户的特殊要求可能影响空冷凝汽器的设计。用户必须配合双良冷却在最终设计之前检查全部条件。

9.6.1.2 汽轮机旁路的运行应在所有风机组能够在全能力下运行时进行。作为启动条件,为了达到最大冷凝能力,必须将空冷凝汽器系统内的不凝性气体全部排出。当汽轮机旁路持续运行时,抽真空设备的能力必须满足不凝性气体能够全部排出。用户的采购要求必须明确说明所有可能的运行工况。

9.6.1.3 进入空冷凝汽器的旁路蒸汽的流量可以在一个较大的范围内变化。双良冷却不保证汽轮机旁路工况时的设备性能,仅对旁路蒸汽进行冷凝。

9.6.1.4 用户/设计院应根据规定的噪音要求考虑必要的降噪措施,如使用特殊的减噪阀门、喷淋器或隔音棉等。不应要求双良冷却保证汽轮机旁路运行时的噪音。

9.6.1.5 旁路接口的允许载荷

9.6.1.5.1 在进行设计时,应优先考虑汽轮机旁路接口的位置和方位,并结合厂房内的设备布置,避免影响主排汽管道的设计和空冷凝汽器的性能。汽轮机旁路接口的位置和方位应便于旁路蒸汽管道的整体布置。

9.6.1.5.2 汽轮机供货商必须规定旁路接口处能够承受的合理的外力和力矩,双良冷却所设计的旁路管道,其传递给旁路接口处的力和力矩必须满足该要求。

9.6.1.5.3 用户/设计院必须配合提供双良冷却所需的全部设计条件。用户的采购要求必须明确旁路接口能够承受的合理的外力和力矩。

9.6.1.5.4 如果用户规定了非正常情况下的设计温度、位移或载荷条件,则需另行考虑接口的类型、材料和布置位置。在这种情况下,用户有责任向双良冷却提出建议以便探讨备选设计方案。

9.6.2 旁路蒸汽调节

9.6.2.1 进入空冷凝汽器的旁路蒸汽的焓值不应超过 2720kJ/kg、压力不应超过 30kPa(g),否则应设置减温减压装置。

9.6.2.2 汽轮机供货商需明确汽轮机与空冷凝汽器接口处的最高温度,汽轮机排汽口处的膨胀节供货商也应考虑到该处的温度限制范围。如果该处的温度超过了系统的设计温度,需要在汽轮机排汽出口处的排汽管道过渡区设置喷淋装置来降低蒸汽温度。用户应设计并提供喷淋装置部件,这些部件应集成到排汽管道内。用户设计的喷淋装置部件应合理,且应与双良冷却进行协调。不应要求双良冷却提供有关喷淋装置的性能保证。



10 抽真空设备

10.1 抽真空要求

10.1.1 抽真空设备必须能够将空冷凝汽器系统中的全部不凝性气体以及夹带的水蒸汽排出系统,以便系统能够达到设计换热能力。需要排出的不凝性气体来源主要为(不限于):

- a) 汽轮机低压缸壳体、密封以及相关的疏水口;
- b) 所有负压系统漏入的空气;
- c) 接入空冷系统的其他疏水口和排气口;
- d) 进入空冷凝汽器系统的补水所释放的气体;
- e) 进入闪蒸箱内的疏水夹带的空气;
- f) 锅炉给水分解成氧气、氢气和其他不凝性气体。

10.1.2 除非用户规定并且双良冷却接受,否则双良冷却不对其他来源的不凝性气体所造成的空冷凝汽器性能影响负责。

10.1.3 抽真空设备在排出不凝性气体的同时,还会排出一定量的水蒸汽。水蒸汽的量会随着不凝性气体的流量、温度和压力变化。

10.2 设计抽气压力

为了使抽真空设备满足空冷凝汽器的性能要求,建议的设计抽气压力应符合以下要求:根据空冷凝汽器的运行背压范围,抽真空设备的最低抽气压力为3.4kPa(a)(在抽真空设备的入口处测量)。最终选择的抽真空设备的能力必须与空冷凝汽器系统的整个运行背压范围相协调。此外,还必须考虑抽真空设备安装位置对抽气压力的影响。

10.3 设计抽气温度

10.3.1 设计抽气温度即抽吸的蒸汽混合物温度应为抽气设备设计压力相对应的饱和蒸汽温度 $t_{vs}(^{\circ}\text{C})$ 减去 $0.25(t_s - t_{w1})$ 或 4.16°C 中的较大值。

10.3.2 运行中抽气口的蒸汽实际温度受到运行特性、不凝结气体负荷和抽气设备容量特征的影响,不一定等于设计吸入温度。

10.4 水蒸汽含量的计算

10.4.1 不凝性气体所夹带的水蒸汽的量可用式(3)计算:

$$W = \frac{18}{MW_{NC}} \times \frac{P_w}{P_T - P_w} \dots\dots\dots (3)$$

10.4.2 当不凝性气体为干空气($MW_{NC}=29$)时,可从上式得到水蒸汽的重量。 P_w 是蒸汽在混合物温度下的饱和压力, P_T 是混合物的总压力。

10.5 推荐的最小能力

在设计抽气压力下,抽真空设备的抽气能力应不小于表5~7中的数值,以确保在各种运行工况下的抽真空能力。

10.5.1 抽真空设备的选型

10.5.1.1 确定进入空冷凝汽器的总蒸汽流量,包括汽轮机排汽和其他辅助设备的排汽。



10.5.1.2 确定主汽轮机低压缸的排汽口数量, 不包括辅助汽轮机的排汽口。

10.5.1.3 将 10.5.1.1 中获得的流量除以 10.5.1.2 中获得的排汽口数量。得到主汽轮机每个排汽口的有效蒸汽流量。

10.5.1.4 在表 5 中找到步骤 10.5.1.3 中获得的流量。

10.5.1.5 主汽轮机低压缸的排汽口数量加上其他进入空冷凝汽器的辅助汽轮机的数量, 得到排汽口的总数量。

10.5.1.6 使用 10.5.1.5 中得到的数值确定推荐的能力。

10.5.2 如果有若干台空冷凝汽器并联, 并且在运行时的抽真空压力可以不同, 那么每台空冷凝汽器的抽真空系统的能力都应满足表 5 的要求。

以下是一个抽真空设备选型的示例:

示例1: 凝汽器设计参数如下:

- a) 一个主汽轮机低压缸;
- b) 来自主汽轮机低压缸排汽口的总蒸汽流量 = 725.7t/h;
- c) 来自辅助汽轮机排汽口的总蒸汽流量 = 0;
- d) 主汽轮机低压缸排汽口的数量 = 1;
- e) 辅助汽轮机排汽口的数量 = 0。
 - 1) 进入空冷凝汽器的总蒸汽流量是主汽轮机低压缸排汽和辅助汽轮机排汽流量之和。[该值为 725.7t/h]
 - 2) 主汽轮机排汽口的数量=1。
 - 3) 将 725.7t/h 除以 1。结果是 725.7t/h, 这是每个主汽轮机低压缸排汽口的有效蒸汽流量。
 - 4) 找到表 5, 使用每个低压排汽口的有效蒸汽流量所列的 680.4 至 907.2t/h 的一行。
 - 5) 排汽口的总数量 =1。这由主汽轮机排汽口和辅助汽轮机排汽口的总数量确定。
 - 6) 该列和行的交汇处的抽真空能力是 0.637Nm³/min。

示例2: 凝汽器设计参数如下:

- a) 一个主汽轮机低压缸
- b) 来自主汽轮机低压缸排汽口的总蒸汽流量 = 430.9t/h
- c) 来自辅助汽轮机排汽口的总蒸汽流量 = 90.7t/h
- d) 主汽轮机低压缸排汽口的数量 =4
- e) 辅助汽轮机排汽口的数量 = 2
 - 1) 进入空冷凝汽器的总蒸汽流量是主汽轮机低压缸排汽和辅助汽轮机排汽流量之和。[该值为 521.6t/h]
 - 2) 主汽轮机排汽口的数量=4。
 - 3) 将 521.6t/h 除以 4。结果是 130.4t/h, 这是每个主汽轮机低压缸排汽口的有效蒸汽流量。
 - 4) 找到表 5, 使用为每个低压排汽口的有效蒸汽流量所列的 113.4~226.8t/h 这一行。
 - 5) 排汽口的总数量 = 6。这由主汽轮机排汽口和辅助汽轮机排汽口的总数量确定。
 - 6) 该列和行的交汇处的抽真空能力是 0.708Nm³/min。

10.5.3 汽轮机旁路运行

当汽轮机旁路运行时, 抽真空设备的能力还必须满足汽轮机全流量旁路运行负荷下可能出现的最大的不凝性气体的含量。

10.6 启动抽真空设备

当需要启动汽轮机时, 空冷凝汽器的压力应从大气压下减小到某一个值, 这可以通过射汽抽气器或水环真空泵实现。抽真空设备的能力取决于汽轮机汽封的效率, 以及汽轮机低压缸、空冷凝汽器和相关



管道的容积、预抽真空的时间。如果没有具体的要求,一般需要在30min内将系统的压力从当地大气压降低至30kPa(a)。

表5 一个主汽轮机低压缸

每个主排汽口的有效蒸汽流量, t/h		排汽口的数量							
		1	2	3	4	5	6	7	8
≤11.34	*Nm ³ /min	0.08	0.11	0.14	0.14	0.21	0.21	0.21	0.28
	干空气, kg/h	6.12	8.16	10.21	10.21	15.33	15.33	15.33	20.41
	水蒸气, kg/h	13.47	17.96	22.45	22.45	33.70	33.70	33.70	44.91
	混合气, kg/h	19.60	26.13	32.66	32.66	48.99	48.99	48.99	65.32
11.34 ~ 22.68	*Nm ³ /min	0.11	0.14	0.21	0.21	0.28	0.28	0.28	0.35
	干空气, kg/h	8.16	10.21	15.33	15.33	20.41	20.41	20.41	25.54
	水蒸气, kg/h	17.96	22.45	33.70	33.70	44.91	44.91	44.91	56.15
	混合气, kg/h	26.13	32.66	48.99	48.99	65.32	65.32	65.32	81.65
22.68 ~ 45.36	*Nm ³ /min	0.14	0.21	0.28	0.28	0.35	0.35	0.42	0.50
	干空气, kg/h	10.21	15.33	20.41	20.41	25.54	25.54	30.62	35.74
	水蒸气, kg/h	22.45	33.70	44.91	44.91	56.15	56.15	67.36	78.61
	混合气, kg/h	32.66	48.99	65.32	65.32	81.65	81.65	97.98	114.31
45.36 ~ 113.4	*Nm ³ /min	0.21	0.35	0.35	0.42	0.50	0.57	0.57	0.71
	干空气, kg/h	15.33	25.54	25.54	30.62	35.74	40.82	40.82	51.03
	水蒸气, kg/h	33.70	56.15	56.15	67.36	78.61	89.81	89.81	112.26
	混合气, kg/h	48.99	81.65	81.65	97.98	114.31	130.63	130.63	163.29
113.4 ~ 226.8	*Nm ³ /min	0.28	0.42	0.50	0.57	0.71	0.71	0.85	0.85
	干空气, kg/h	20.41	30.62	35.74	40.82	51.03	51.03	61.23	61.23
	水蒸气, kg/h	44.91	67.36	78.61	89.81	112.26	112.26	134.72	134.72
	混合气, kg/h	65.32	97.98	114.31	130.63	163.29	163.29	195.95	195.95
226.8 ~ 340.2	*Nm ³ /min	0.35	0.57	0.57	0.71	0.85	0.85	0.99	1.13
	干空气, kg/h	25.54	40.82	40.82	51.03	61.23	61.23	71.44	81.65
	水蒸气, kg/h	56.15	89.81	89.81	112.26	134.72	134.72	157.17	179.62
	混合气, kg/h	81.65	130.63	130.63	163.29	195.95	195.95	228.61	261.27
340.2 ~ 453.6	*Nm ³ /min	0.42	0.64	0.64	0.78	0.92	0.99	1.13	1.27
	干空气, kg/h	30.62	45.95	45.95	56.15	66.36	71.44	81.65	91.85
	水蒸气, kg/h	67.36	101.06	101.06	123.51	145.88	157.17	179.62	202.08
	混合气, kg/h	97.98	146.96	146.96	179.62	212.28	228.61	261.27	293.93
453.6 ~ 567	*Nm ³ /min	4.96	0.71	0.78	0.92	1.06	1.13	1.27	1.42
	干空气, kg/h	35.74	51.03	561.55	66.36	73.71	81.65	91.85	102.06
	水蒸气, kg/h	78.61	112.26	123.51	145.97	162.16	179.62	202.08	224.53
	混合气, kg/h	1143.05	163.29	179.62	212.28	235.87	261.27	293.93	326.59



每个主排汽口的有效蒸汽流量, t/h		排汽口的数量							
		1	2	3	4	5	6	7	8
567 ~ 680.4	*Nm ³ /min	0.57	0.78	0.85	0.99	1.13	1.27	1.27	1.42
	干空气, kg/h	40.82	56.15	61.23	71.44	81.65	91.85	91.85	102.06
	水蒸气, kg/h	89.81	123.51	134.72	157.17	179.62	202.08	202.08	224.53
	混合气, kg/h	130.63	179.62	195.95	228.61	261.27	293.93	293.93	326.59
680.4 ~ 907.2	*Nm ³ /min	0.64	0.85	0.99	1.06	1.27	1.42	14.16	1.56
	干空气, kg/h	45.95	61.23	71.44	73.71	91.85	102.06	102.06	112.26
	水蒸气, kg/h	101.06	134.72	157.17	162.16	202.08	224.53	224.53	246.98
	混合气, kg/h	146.96	195.95	228.61	235.87	293.928	326.59	326.59	359.25
907.2 ~ 1134	*Nm ³ /min	0.71	0.92	1.06	1.133	1.42	1.56	1.56	1.70
	干空气, kg/h	51.03	66.36	73.71	81.65	102.06	112.26	112.26	122.47
	水蒸气, kg/h	112.26	145.97	162.16	179.62	224.53	246.98	246.98	269.43
	混合气, kg/h	163.29	212.28	235.87	261.27	326.59	359.25	359.25	391.90
1134 ~ 1360.8	*Nm ³ /min	0.78	0.99	1.133	1.27	1.416	1.56	16.99	1.84
	干空气, kg/h	56.15	71.44	81.65	91.85	102.06	112.26	122.47	132.68
	水蒸气, kg/h	123.51	157.17	179.62	202.08	224.53	246.98	269.43	291.89
	混合气, kg/h	179.62	228.61	261.27	293.93	326.59	359.25	391.90	424.56
1360.8 ~ 1587.6	*Nm ³ /min	0.85	1.13	1.27	1.42	1.56	16.99	1.84	1.98
	干空气, kg/h	61.23	81.65	91.85	102.06	112.26	122.47	132.68	142.88
	水蒸气, kg/h	134.72	179.62	202.08	224.53	246.98	269.43	291.89	314.34
	混合气, kg/h	195.95	261.27	293.93	326.59	359.25	391.90	424.56	457.22
1587.6 ~ 1814.4	*Nm ³ /min	0.92	1.27	1.42	15.57	16.99	1.84	1.98	2.12
	干空气, kg/h	66.36	91.85	102.06	112.26	122.47	132.68	142.88	153.09
	水蒸气, kg/h	145.97	202.08	224.53	246.98	269.43	291.89	314.34	336.79
	混合气, kg/h	212.28	293.93	326.59	359.25	391.90	424.56	457.22	489.88
注: *21.1℃、1个标准大气压 注: 上述泄漏量为21.9℃、3.4kPa(a)时的空气和水蒸气的混合物。									



表6 两个主汽轮机低压缸

每个主排汽口的有效蒸汽流量, t/h		排汽口的数量						
		2	3	4	5	6	7	8
45.36 ~ 113.4	Nm ³ /min	0.42	0.57	0.57	0.64	0.71	0.78	0.85
	干空气, kg/h	30.62	40.82	40.82	45.95	51.03	56.15	61.23
	水蒸气, kg/h	67.36	89.81	89.81	101.06	112.26	123.51	134.72
	混合气, kg/h	97.98	130.63	130.63	146.96	163.29	179.62	195.95
113.4 ~ 226.8	Nm ³ /min	0.57	0.64	0.71	0.85	0.92	1.06	1.13
	干空气, kg/h	40.82	459.49	51.03	61.23	66.36	73.71	81.65
	水蒸气, kg/h	89.81	101.06	112.26	134.72	145.97	162.16	179.62
	混合气, kg/h	130.63	146.96	163.29	195.95	212.28	235.87	261.27
226.8 ~ 340.2	Nm ³ /min	0.71	0.78	0.92	1.06	1.13	1.27	1.42
	干空气, kg/h	51.03	56.15	66.36	73.71	81.65	91.85	102.06
	水蒸气, kg/h	112.26	123.51	145.97	162.16	179.62	202.08	224.53
	混合气, kg/h	163.29	179.62	212.28	235.87	261.27	293.93	326.59
340.2 ~ 453.6	Nm ³ /min	0.78	0.85	0.99	1.13	1.27	1.42	1.56
	干空气, kg/h	56.15	61.23	71.44	81.65	91.85	102.06	112.26
	水蒸气, kg/h	123.51	134.72	157.17	179.62	202.08	224.53	246.98
	混合气, kg/h	179.62	195.95	228.61	261.27	293.93	326.59	359.25
453.6 ~ 567	Nm ³ /min	0.92	0.99	1.13	1.27	1.42	1.56	1.70
	干空气, kg/h	66.36	714.41	81.65	91.85	102.06	112.26	122.47
	水蒸气, kg/h	145.97	157.17	179.62	202.08	224.53	246.98	269.43
	混合气, kg/h	212.28	228.61	261.27	293.93	326.59	359.25	391.90
567 ~ 680.4	Nm ³ /min	0.99	1.06	1.27	1.42	1.56	1.70	1.84
	干空气, kg/h	71.44	73.71	91.85	102.06	112.26	122.47	132.68
	水蒸气, kg/h	157.17	162.16	202.08	224.53	246.98	269.43	291.89
	混合气, kg/h	228.61	235.87	293.93	326.59	359.25	391.90	424.56
680.4 ~ 907.2	Nm ³ /min	1.06	1.13	1.42	1.57	1.70	1.84	1.98
	干空气, kg/h	73.71	81.65	102.06	112.26	122.47	132.68	142.88
	水蒸气, kg/h	162.16	179.62	224.53	246.98	269.43	291.89	314.34
	混合气, kg/h	235.87	261.27	326.59	359.25	391.90	424.56	457.22
907.2 ~ 1134	Nm ³ /min	1.13	1.27	1.56	1.70	1.84	1.98	2.12
	干空气, kg/h	81.65	91.85	112.26	122.47	132.68	142.88	153.09
	水蒸气, kg/h	179.62	202.08	246.98	269.43	291.89	314.34	336.79
	混合气, kg/h	261.27	293.93	359.25	391.90	424.56	457.22	489.88
1134 ~ 1360.8	Nm ³ /min	1.27	1.42	1.56	1.84	1.98	2.12	2.27
	干空气, kg/h	91.85	102.06	112.26	132.68	142.88	153.09	163.29
	水蒸气, kg/h	202.08	224.53	246.98	291.89	314.34	336.79	359.25
	混合气, kg/h	293.93	326.59	359.25	424.56	457.22	489.88	522.54



每个主排汽口的有效蒸汽流量 量, t/h		排汽口的数量						
		2	3	4	5	6	7	8
1360.8 ~ 1587.6	Nm ³ /min	1.42	1.56	1.70	1.98	2.12	2.27	2.41
	干空气, kg/h	102.06	112.26	122.47	142.88	153.09	163.29	173.50
	水蒸气, kg/h	224.53	246.98	269.43	314.34	336.79	359.25	381.70
	混合气, kg/h	326.59	359.25	391.90	457.22	489.88	522.54	555.20
1587.6 ~ 1814.4	Nm ³ /min	1.56	1.70	1.84	1.98	2.27	2.41	2.55
	干空气, kg/h	112.26	122.47	132.68	142.88	163.29	173.50	183.70
	水蒸气, kg/h	246.98	269.43	291.89	314.34	359.25	381.70	404.15
	混合气, kg/h	359.25	391.90	424.56	457.22	522.54	555.20	587.86
注: *21.1℃、1个标准大气压								
注: 上述泄漏量为21.9℃、3.4kPa(a)时的空气和水蒸气的混合物。								

表7 三个主汽轮机低压缸

每个主排汽口的有效蒸汽流量, t/h		排汽口的数量					
		3	4	5	6	7	8
113.4 ~ 226.8	Nm ³ /min	0.85	9.20	1.06	1.13	1.27	1.42
	干空气, kg/h	61.23	66.36	73.71	81.65	91.85	102.06
	水蒸气, kg/h	134.72	145.97	162.16	179.62	202.08	224.53
	混合气, kg/h	195.95	212.28	235.87	261.27	293.93	326.59
226.8 ~ 340.2	Nm ³ /min	0.92	1.06	1.27	14.16	1.56	1.70
	干空气, kg/h	66.36	73.71	91.85	102.06	112.26	122.47
	水蒸气, kg/h	145.97	162.16	202.08	224.53	246.98	269.43
	混合气, kg/h	212.28	235.87	293.93	326.59	359.25	391.90
340.2 ~ 453.6	Nm ³ /min	1.06	1.27	1.42	1.56	1.84	1.98
	干空气, kg/h	73.71	91.85	102.06	112.26	132.68	142.88
	水蒸气, kg/h	162.16	202.08	224.53	246.98	291.87	314.34
	混合气, kg/h	235.87	293.93	326.59	359.25	424.56	457.22
453.6 ~ 567	Nm ³ /min	1.13	1.42	1.56	1.84	1.98	2.12
	干空气, kg/h	816.47	102.06	112.26	132.68	142.88	153.09
	水蒸气, kg/h	179.62	224.53	246.98	291.89	314.34	336.79
	混合气, kg/h	261.27	326.59	359.25	424.56	457.22	489.88
567 ~ 680.4	Nm ³ /min	1.27	1.57	1.70	1.98	2.12	2.27
	干空气, kg/h	91.85	112.26	#VALUE!	142.88	153.09	163.29
	水蒸气, kg/h	202.08	246.98	269.43	314.34	336.79	359.25
	混合气, kg/h	293.93	359.25	391.90	457.22	489.88	522.54

每个主排汽口的有效蒸汽流量, t/h		排汽口的数量					
		3	4	5	6	7	8
680.4 ~ 907.2	Nm ³ /min	1.42	1.70	1.84	2.12	2.27	2.55
	干空气, kg/h	102.06	122.47	132.68	153.09	163.29	183.70
	水蒸气, kg/h	224.53	269.43	291.89	336.79	359.25	404.15
	混合气, kg/h	326.59	391.90	424.56	489.88	522.54	587.86
907.2 ~ 1134	Nm ³ /min	1.56	18.41	1.98	22.65	2.41	2.69
	干空气, kg/h	112.26	132.68	142.88	163.29	173.50	193.91
	水蒸气, kg/h	246.98	291.89	314.34	359.25	381.70	426.60
	混合气, kg/h	359.25	424.56	457.22	522.54	555.20	620.51
1134 ~ 1360.8	Nm ³ /min	1.70	19.82	2.12	2.41	2.55	2.83
	干空气, kg/h	122.47	142.88	153.09	173.50	183.70	204.12
	水蒸气, kg/h	269.43	314.34	336.79	381.70	404.15	449.06
	混合气, kg/h	391.90	457.22	489.88	555.20	587.86	653.17
1360.8 ~ 1587.6	Nm ³ /min	1.84	21.24	2.27	2.55	2.69	2.97
	干空气, kg/h	132.68	153.09	163.29	183.70	193.91	214.32
	水蒸气, kg/h	291.89	336.79	359.25	404.15	426.60	471.51
	混合气, kg/h	424.56	489.88	522.54	587.86	620.51	685.83
1587.6 ~ 1814.4	Nm ³ /min	1.98	2.27	2.41	2.69	2.83	3.11
	干空气, kg/h	142.88	163.29	173.50	193.91	204.12	224.53
	水蒸气, kg/h	314.34	359.25	381.70	426.60	449.06	493.96
	混合气, kg/h	457.22	522.54	555.20	620.51	653.17	718.49
注: *21.1℃、1个标准大气压。							
注: 上述泄漏量为21.9℃、3.4kPa(a)时的空气和水蒸气的混合物。							

11 大气泄放装置

11.1 概述

11.1.1 大气泄放装置的规格取决于规定的运行工况。需要在规定的泄放压力下将系统内的蒸汽全流量泄放, 所需泄放的蒸汽量应为所有运行工况中的最大蒸汽流量。

11.1.2 大气泄放装置的尺寸和位置应基于以下标准:

- 泄放压力应不超过空冷凝汽器的设计压力;
- 泄放装置的安装位置应便于操作、检修和维护, 泄放装置不需要直接安装在空冷凝汽器本体上, 可安装排汽管道上;
- 泄放装置所排出的蒸汽应避免对人员或设备造成伤害。

11.2 真空破坏阀

11.2.1 阀门应适应在全真空状态下运行。

11.2.2 用户应该提出真空破坏阀的选型要求。

11.3 爆破装置



11.3.1 爆破膜是一种通过静压差使承压膜片破裂、不可重复使用的泄压装置。

11.3.2 每个爆破膜应按照设计要求设定爆破压力。所选择的爆破压力应考虑制造公差，设计爆破压力加上所有相关的公差不得超过空冷凝汽器的设计压力。爆破膜设定爆破压力为 40kPa (g)。

11.3.3 空冷凝汽器系统安装的所有爆破膜的能力应足以泄放空冷凝汽器的最大蒸汽流量。对于同时安装有排汽安全阀的系统，所有爆破膜的能力应满足空冷凝汽器最大蒸汽流量的 90%。

11.3.4 爆破膜的尺寸可以通过式 (4) 确定：

$$A_d = \frac{W_d}{5.25 \times K_4 \times P_A} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

A_d ——要求的最小流通面积， mm^2 ；

W_s —— 排放流量， kg/h ；

K_4 —— 流量系数；

P_A —— 泄放压力， kPa 。

11.3.5 单个爆破膜直径一般不宜超过 1000mm。

11.3.6 爆破膜通常设置于空冷凝汽器的排汽管道或蒸汽分配管上，且应便于检修及更换，并应避免所排出的蒸汽对人员或设备造成伤害，必要时应设置检修平台。

11.3.7 爆破膜应能够在全真空条件下运行且没有泄漏。

11.4 排汽安全阀

11.4.1 排汽安全阀是启闭件，受外力作用下处于常闭状态，当系统内的蒸汽压力升高超过规定值时，通过向系统外排放蒸汽来防止系统内蒸汽压力超过规定数值的特殊阀门。

11.4.2 排汽安全阀应按照设计要求设定泄放压力。所选择的泄放压力应考虑制造公差，设计泄放压力加上所有相关的公差不得超过空冷凝汽器的设计压力。安全阀设定开启压力为 4~7kPa (g)，全流量泄放压力为 30kPa (g)，低于爆破膜的爆破压力。

11.4.3 空冷凝汽器系统安装的所有排汽安全阀的能力应足以泄放空冷凝汽器的最大蒸汽流量。对于同时安装有爆破膜的系统，一般仅需设置一个泄放能力为空冷凝汽器最大蒸汽流量的 10%的排汽安全阀。

11.4.4 排汽安全阀的尺寸可以通过式 (5) 确定：

$$A_d = \frac{W_d}{5.25 \times K_4 \times P_A} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

A_d ——要求的最小流通面积， mm^2 ；

W_s —— 排放流量， t/h ；

K_4 —— 流量系数；

P_A —— 泄放压力， kPa 。

11.4.5 单个安全阀直径不宜超过 600mm。

11.4.6 排汽安全阀通常设置于空冷凝汽器的排汽管道上，且应便于操作及检修，并应避免所排出的蒸汽对人员或设备造成伤害，必要时应设置检修平台。

11.4.7 排汽安全阀应能够在全真空条件下运行且没有泄漏。



12 检查、质量和现场安装

12.1 气密性试验

12.1.1 气密性试验的目的是检验空冷凝汽器系统的安装质量以及整体密闭性，试验范围包括排汽管道、蒸汽分配管、换热管束、管束下联箱、凝结水管道、抽真空管道、凝结水箱等。试验前，应在排汽管道的合适位置安装气密性试验盲板，该位置应尽可能的接近汽轮机排汽口。

12.1.2 使用空气压缩机对空冷凝汽器系统进行加压，使压力缓慢升高至 50kPa(g) 并稳定后关闭空气压缩机，每隔一小时记录系统的压力和温度。试验持续 24h，系统的压力降低不应大于 5kPa（扣除环境温度的影响）。

12.1.3 应该安装一个临时泄压装置，防止空冷凝汽器超压。泄压装置的能力至少等于用于压力试验的空气压缩机的能力。在压力试验期间，应拆除爆破膜和/或排汽安全阀。

12.1.4 空冷凝汽器的结构不能承受水压试验相关的载荷。因此，不应进行水压试验。

12.1.5 在上述正压气密性试验结束且试验结果合格后，还应进行系统的真空气密性试验：打开射汽抽气器或水环真空泵入口处的隔断阀，启动射汽抽气器或水环真空泵，当系统压力降至 $\leq 30\text{kPa(a)}$ 并稳定后关闭射汽抽气器或水环真空泵，每隔一小时记录系统的压力和温度。试验持续 24h，系统的压力升高不应大于 5kPa（扣除环境温度的影响）。

12.2 焊接检查和质量

本章节规定了在工厂和现场进行的空冷凝汽器焊缝检验的最低标准。使用GB标准作为指导制订外观验收标准。

12.2.1 焊缝检测方法和检测设备

- 执行外观检查的人员应按照 GB 标准进行目测并且合格；
- 应按照供货商的认可的质量控制手册和程序，维护和校准所有的测量设备。

12.2.2 焊缝类别

考虑到特定焊缝类型的使用要求，制订并区分以下类别。这些标准适用于工厂焊缝以及装置中的现场焊缝，与连接短管的管焊缝除外。

- 类别 I：压力边界焊缝，在大气压和空冷凝汽器内压之间提供隔离的焊缝；
- 类别 II：结构焊缝，与空冷凝汽器、平台、楼梯、大管道、容器和配管的支撑结构相关的焊缝；
- 类别 III：所有其他焊缝，与各类套管、防旋涡装置、导流筒、步道格栅、楼梯踏步、安全栏杆、仪表及附件支架、临时性安装和运输构件、铭牌及铭牌支架等有关的焊缝。

12.2.3 验收等级

设备供应商必须使用GB标准作为各种焊缝的验收等级。

12.3 表面处理要求

12.3.1 一般要求

供货商应进行表面处理以保证设备满足以下各方面的要求：

- 需进行表面防腐（油漆、冷喷锌或热浸锌）的表面没有可能会影响涂层附着的有害材料；
- 在任何情况下，表面处理应满足相应涂层的要求；



- c) 表面锈迹、焊渣或其他材料应通过合适的方法去除；
- d) 表面应光洁，无可能导致人员受伤的疤痕和突起；
- e) 本章节要求的表面处理可以在制造周期期间的任何时候进行。在制造期间形成的铁锈应在进行表面防腐之前去除。所有可见的油漆疤痕和瑕疵应在装运前补漆。在安装完成后必须对安装过程中造成防腐层破损以及现场焊接处进行补漆。

12.3.2 要求

12.3.2.1 表 8 包含空冷凝汽器的各个部位和部件的推荐的表面处理要求。

12.3.2.2 书面要求适用于在供货商的工厂制造的部件和组件的表面处理，安装承包商最终安装也应满足表 8 的相关条目。

12.3.2.3 用户应保证不是双良冷却供货、但需要连接或安装到空冷凝汽器内的部件应按照类似方式进行表面处理。

表8 在供货商工厂制造的部件和组件推荐的表面处理

项目	管束	管道	水箱	配管	辅助设备
焊缝表面	按照双良冷却标准 不得有弧坑和飞溅物等缺陷。焊缝表面的咬边深度不得大于 0.5mm，每条焊缝两侧咬边的总长不得超过该焊缝长度的 10%。	按照相关的焊接规程			按照制造商标准
表面等级	按照双良冷却标准 上、下管板非焊接侧表面按照 ISO12944 第四部分规定进行喷砂处理，表面等级为 Sa2.5 级。	内表面按照 ISO12944 Sa 2.5 或更好	按照制造商标准		
压痕	小的基管压痕和翅片变形是可以接受的。基管压痕不应损害压力边界	外表面按照 ISO12944 Sa 2.5 或更好	按照制造商标准		
残余焊缝金属和突起	按照双良冷却标准 焊缝上的熔渣和两侧的飞溅物必须清除。	压痕深度应为 0.2×厚度或 3mm 中的较小者	按照制造商标准		
引弧点	最大高度 3mm：根据需要打磨以保证良好的油漆附着力				
焊渣	除去所有的引弧点				按照制造商标准
锈蚀	按照 ISO12944 Sa 2.5 或更高标准清除焊渣				按照制造商标准
部件或分组件的一般状态	按照 ISO12944 Sa 2.5 或更高标准清除锈蚀				
	应采用刷子刷、压缩空气吹扫和/或高压水清洗等方式清除疏松的尘土、颗粒、铁锈、油污以及其他一般污染物，或形成一个光洁的外观（按照 ISO12944）				

12.4 防腐处理

12.4.1 空冷凝汽器的碳钢部件（钢结构、大管道、配管和容器）的外表面必须进行清理并涂刷底漆或进行冷喷锌、热浸锌等其他型式的防腐处理。面漆及安装后的补漆在现场安装后由用户进行。

12.4.2 正常装运和储存期间，空冷凝汽器内表面不要求防腐处理或涂刷防锈剂。这些表面的氧化是可以接受的。任何内表面的处理应使用不含二氧化硅的铁质材料。

12.4.3 机械设备应提供制造商的标准出厂防护。



12.4.4 这些标准不涉及任何涂层的涂敷，所有这种涂敷应按照相关工艺的要求进行。

12.5 质量保证

空冷凝汽器质量保证程序应在质量保证手册中加以描述，如有要求，质量保证手册应提供给用户和其代表。质量保证程序应考虑对供货商的装置和任何分包商制造设备的质量控制。用户和/或安装承包商应负责现场的质量保证。现场安装负责方应有一个与空冷凝汽器的质量保证程序相当的质量保证程序，该质量保证程序的审查应由用户负责。质量保证程序应保证符合但不限于制造商的标准和本标准，至少应提供：

- a) 项目控制（即工程设计、采购、安装）；
- b) 材料控制；
- c) 制造控制；
- d) 质量控制；
- e) 文件控制；
- f) 程序控制。

12.6 现场工地代表的职责

双良冷却将派遣一名现场工地代表（简称工代），以便按照安装图纸和安装规程向用户提供空冷凝汽器及其附件正确安装指导。当双良冷却的要求和现场施工方法之间出现差异时，工代有权把差异提交给用户指定的代表。

12.7 安装后的清洁

12.7.1 由于空冷凝汽器的内部体积较大但空间受限，所以安装承包商执行高标准的内务管理工作是重要的。当完成空冷凝汽器一阶段的安装后，安装承包商应检查并清除所有的建筑垃圾（如工具、焊条、焊渣、工具箱、灯具等），以免它们进入翅片管或其他部位。

12.7.2 安装承包商应确定空冷凝汽器的安装顺序，以便在封闭之前清除系统内部的垃圾。应遵循从上至下清理空冷凝汽器内部的方法，特别是下联箱应在蒸汽分配管安装完成并完全清理后再安装。

12.7.3 空冷凝汽器的其他部件（如蒸汽管道、疏水集液箱、凝结水箱和配管系统）也应在安装时或最终封闭前将垃圾清理干净。

12.7.4 在凝结水管道上应预留一个排污口，以便在系统进行热态清洗时能够将系统内残留的垃圾、锈蚀物等顺利排出。

12.7.5 在冷态调试开始之前，必须将外部垃圾和建筑材料从空冷凝汽器的所有表面清除，包括但不限于以下部分：

- a) 换热表面；
- b) 走道和平台；
- c) 机械设备（风机、电机等）；
- d) 风机防护网和电缆托盘。

12.8 安装后的检查

在安装完成后，建议双良冷却的工代和用户（或用户监理）进行一次安装后的全面检查，应检查以下内容：

- a) 肉眼检查所有已安装的空冷凝汽器部件；
- b) 审查与安装过程有关的检验和试验记录；
- c) 审查所要求的消缺处理项目。



13 调试

13.1 冷态调试

在安装完成后应进行冷态调试。冷态调试的前提包括按照12.1条的要求完成现场气密性试验并且试验结果合格、完成了所有消缺项目、所有的电气和仪表连接已完成，并且可向风机电机和其他电气部件提供电源。调试前需检查的项目包括但不限于以下内容：

13.1.1 确认满足 12.7 节中所述的安装清理要求。

13.1.2 确认已按照双良冷却的操作维护手册对所有机械设备进行了运行前检查，包括但不限于：

- a) 确认齿轮箱润滑油的类型和油位；
- b) 安装齿轮箱呼吸器；
- c) 核实所有旋转设备的润滑是否到位；
- d) 校准仪表并进行功能检查；
- e) 用电阻表测量所有电机的绝缘情况；
- f) 拆除盲板，安装爆破膜和/或排汽安全阀；
- g) 拆除所有膨胀节上的运输用固定拉杆；
- h) 拆除所有支吊架上的锁定装置。

13.1.3 按照双良冷却的操作维护手册进行冷态调试，包括但不限于：

- a) 检查风机和电机；
- b) 进行风机运转试验，如需要，调节振动开关和齿轮箱压力开关；
- c) 如需要，调节风机叶片角度；
- d) 注意旋转设备的任何异常振动（必要时记录）和噪音；
- e) 测试阀门的功能（转动阀门测试行程，必要时设定或调节限位开关）；
- f) 进行抽真空设备的功能试验；
- g) 调试空冷凝汽器电气系统；
- h) 调试空冷凝汽器仪表和控制系统；
- i) 检查伴热功能；
- j) 检查接地系统功能。

13.2 热态调试

13.2.1 在顺利完成所有设备的冷态调试后，如果可以提供蒸汽，就开始进行热态调试。

13.2.2 双良冷却的操作维护手册应与以下检查表一起使用。

13.2.3 热态调试由用户委托第三方进行，双良冷却提供配合。典型的热态调试内容包括：

- a) 对空冷凝汽器内部进行热态清洗，直到满足用户的水质要求。用户应提供和安装收集或处置初始冷凝水的临时装置；
- b) 在热态清洗期间，检查蒸汽管道、空冷凝汽器和配管的位移，以确认自由膨胀。

13.2.4 热态清洗完成后，应进行以下热态调试项目：

- a) 核实 DCS 控制系统上的压力控制、必要时进行调节，核实阀门的控制；
- b) 核实抽真空系统的运行情况；
- c) 核实防冻保护功能（在对应的环境温度条件下）；
- d) 检查并记录不凝性气体温度、凝结水温度和换热管束温度；
- e) 对系统进行真空衰减试验，必要时检查空冷凝汽器系统泄漏。

13.3 调试工程师的职责



0281 BIK002—2020

13.3.1 双良冷却将派遣一名调试工程师以便向用户提供正确调试空冷凝汽器及其附件、以及首次运行方面的指导工作。

13.3.2 当供货商的要求和现场调试方法之间出现任何差异时，调试工程师有权把这种差异提交给用户指定的代表并提醒其注意。

企业标准信息公共服务平台
公开
2020年09月07日 09点44分

企业标准信息公共服务平台
公开
2020年09月07日 09点44分



附 录 A
(资料性附录)
空冷凝汽器数据表

A.1 空冷凝汽器数据表见表A.1。

表A.1 空冷凝汽器数据表

1	供货商:		
2	客户/项目名称:		
3	地址:		
4	客户项目号:		
5	供货商项目号:		
设计条件			
6	蒸汽侧		空气侧
7	蒸汽流量:	T/h	总的空气质量流量: kg/s
8	不凝性气体流量:	T/h	进口/出口温度: °C
9	汽轮机排汽压力:	kPa(a)	管束迎面风速: m/s
10	蒸汽焓值:	kJ/kg	风机静压: Pa
11	蒸汽干度:	%	每台风机的空气流量: m³/s
12	进口/出口温度:	°C	电机总消耗功率: kW
13			海拔高度: m
传热数据			
14	传热系数:	W/m²·C	换热面积: m²
15	热负荷:	MW	对数平均温差（LMTD）: °C
16	管束迎风面积:	m²	
管束设计数据			
18	设计压力:	bar(g)	设计温度: °C
19	试验压力:	bar(g)	
布置			
20	占地面积，W x L:	m x m	管排数:
21	平台高度:	m	顺流管束长度: m
22	单元布置:	排数×（单元/排）	逆流管束长度: m
23	单元数量:	顺流/逆流	基管尺寸: mm×mm
24	单元尺寸，W x L:	m×m	基管间距: mm
25			基管壁厚: mm
26	排汽管道直径:	mm	基管材料:
27	管道腐蚀余量:	mm	翅片材料:
28	蒸汽分配管直径:	mm	翅片尺寸: mm×mm



0281 BIK002—2020

29	每个单元的管束数量:	翅片间距:	mm
30	每个管束的基管数量:		
风机			
31	风机数量:	直径:	m
32	转速:	RPM	叶片数
33			叶片材料:
34	风机轴功率:	kW	1 米处声压级 dBA
电机			
35	型号:	电机数量:	
36	转速:	RPM	防护等级:
37	电机额定功率:	kW	电压 (V) / 相数/频率:
38	减速机		
39	型号:	减速机数量:	
40	减速比:	服务系数	
凝结水箱			
41	壁厚:	mm	容积 m ³
42	正常水位:	mm	正常水位容积: m ³
43	最大水位:	mm	最大水位容积: m ³
44	尺寸 (直径 x 长度):	in	腐蚀余量: mm